

IPC-2221A

Общий стандарт на проектирование печатных плат.

(Перевод на русский язык, редакция №10.2008)

Примечание: настоящий перевод распространяется только с официальной версией на английском языке. Регулирующей версией является версия на английском языке. В случае разночтений необходимо руководствоваться версией на английском языке.

Разработан IPC-Д-275 рабочей группой (Д-31в) по жестким печатным платам комитета (Д-30) IPC

IPC-2221A
Май 2003
Замещает:
IPC-2221
Февраль 1998

Стандарт разработан IPC

Перевод выполнен:
ФГУП ВНИИА

под редакцией
ЗАО Предприятие Остек

Авторизированный дистрибьютор:
ЗАО Предприятие Остек
121467, РФ, г. Москва,
ул. Молдавская, д.5, стр.2
тел.: (495) 788-44-44
факс: (495) 788-44-42
E-mail: info@ostec-smt.ru
Интернет: www.ostec-smt.ru

Оглавление

Таблицы

Рисунки

Общий стандарт на проектирование печатных плат

1.0 Назначение

Настоящий стандарт устанавливает основные требования к проектированию печатных плат на органическом основании и другим видам монтажа компонентов или структурам межслойных соединений. Органические материалы могут быть гомогенными, армированными или комбинированными с неорганическими материалами; межсоединения могут осуществляться с помощью односторонних, двусторонних или многослойных структур.

1.1 Цель

Требования, содержащиеся в данном стандарте, предназначены для установления принципов и рекомендаций по проектированию, которые **должны** использоваться совместно с детальными требованиями к специфическим структурам межсоединений частных стандартов (см.1.2) при разработке детальных конструкций, предназначенных для установки и соединения пассивных и активных компонентов. Данный стандарт не предназначен для использования в качестве технических условий на готовые печатные платы или в качестве приемочного документа для электронных сборок. Требования к приемке электронных сборок см. в IPC/EIA-J-STD-001 и IPC-A-610.

Компоненты могут быть предназначены для монтажа в сквозные металлизированные отверстия, поверхностного монтажа, могут иметь малый шаг выводов, сверхмалый шаг выводов, быть корпусными или бескорпусными. Для обеспечения физических, тепловых, электронных функций и требований в условиях воздействия окружающей среды могут использоваться любые комбинации материалов.

1.2 Иерархия документации

Данный стандарт определяет основные принципы проектирования и дополнен разными частными документами, делающими акцент на специфические аспекты технологии изготовления печатных плат.

Примерами являются:

IPC-2222	Частный стандарт на проектирование жестких печатных плат на органическом материала основания
IPC-2223	Проектирование гибких печатных плат
IPC-2224	Проектирование печатных плат памяти для персональных компьютеров на органическом основании
IPC-2225	Проектирование печатных плат на органическом основании для многокристальных модулей
IPC-2226	Проектирование печатных плат с высокоплотными межсоединениями
IPC-2227	Проектирование плат на органическом основании, используемых для дискретного монтажа

Список является перечнем частных стандартов и не является неотъемлемой частью данного общего стандарта. Указанные документы входят в комплект стандартов на проектирование печатных плат, который идентифицируется как IPC-2220. Номер IPC-2220 используется только для обозначения комплекта, включающего все документы, входящие в него, и облегчает процесс поиска его местоположения при заказе.

1.3 Система измерения

Все размеры и допуски в данном стандарте выражаются в метрических единицах измерения. Заказчики при согласовании характеристик и качества продукции по данным техническим условиям должны использовать метрическую систему измерения.

1.4 Пояснения

"Shall" – императивная форма глагола, которая используется в данном стандарте для выражения обязательности предъявляемых требований. Отклонения от обязательности требований могут быть рассмотрены при наличии достаточных данных, обосновывающих их допустимость. Слова "should" и "may" использованы для выражения необязательности требований. Слово "will" использовано для выражения заявления о намерении.

Для облегчения чтения слово **"shall"** представлено усиленным шрифтом.

1.5 Определение терминов

Определения всех терминов, используемых в данном стандарте, должны соответствовать IPC-T-50.

1.6 Классификация продукции

Данный стандарт устанавливает, что жёсткие печатные платы и смонтированные печатные платы являются субъектом классификации, основанной на их конечном применении. Классификация по признаку изготовляемости связана со сложностью

проектирования и требуемой точностью изготавливаемых специфических печатных плат или сборки на них. В связи с этим, высоконадёжная продукция, определяемая как продукция Класса 3 (см.1.6.2), может требовать проектирования с уровнем сложности "А" (предпочтительная изготовляемость) для многих характеристик печатных плат или сборок на печатных платах (см.1.6.3).

1.6.1 Тип плат

Данный стандарт представляет информацию о конструкции плат разных типов. Типы плат отличаются технологией изготовления и классифицированы в частных стандартах.

1.6.2 Классы характеристик

Установлено три основных класса конечной продукции, отражающих прогрессивный рост её сложности, требований к функциональным характеристикам и частоте (периодичности) проверок и испытаний. Необходимо признать, что требования классов аппаратуры могут перекрываться. Заказчик печатных плат несёт ответственность за определение класса, к которому должна относиться его продукция. В контракте **должен** указываться требуемый класс характеристик и любые отклонения соответствующих специфических параметров.

Класс 1 Электронная аппаратура общего назначения Данная продукция включает потребительскую аппаратуру, некоторые компьютеры и компьютерную периферию, а также соответствующие изделия военного назначения, когда косметические дефекты не имеют значения и главным требованием является функциональная полнота печатных плат или сборок на печатных платах.

Класс 2 Чувствительная сервисная электронная продукция Данная продукция включает коммутационное оборудование, сложную оргтехнику, инструменты и военную аппаратуру, когда требуются высокие эксплуатационные характеристики и длительный срок службы, а непрерывность в работе является желаемой, но не критичной.

Класс 3 Высоконадёжная электронная продукция Данная продукция включает коммерческую и военную аппаратуру, для которой постоянство характеристик или работа по требованию являются критичными. Аппаратура не должна простаивать и должна функционировать при длительном сроке службы или когда она используется в системах контроля полёта. Печатные платы и сборки на печатных платах данного класса подходят для использования в тех случаях, когда требуется высокий уровень надёжности и долговечность.

1.6.3 Уровень технологичности (возможность изготовления)

В данном стандарте предусмотрены три уровня сложности конструкций, которые определяются установленными допусками, размерами, сборкой, финишными испытаниями или проверкой производственного процесса, влияющими на увеличение сложности оснастки, материалов и процессов обработки, а в итоге – на увеличение стоимости изготовления продукции. Этими уровнями являются:

Уровень А – Обычный (наиболее широко используемый) уровень сложности конструкции - предпочтительный
Уровень В – Уровень умеренной сложности конструкции - стандартный
Уровень С – Уровень высокой сложности конструкции – наименее используемый.

Уровень технологичности должен интерпретироваться не как требование к конструкции, а как способ установления связи между конструкцией и возможностью её изготовления. Использование одного уровня для специфических характеристик не означает, что другие характеристики должны быть того же уровня. Выбор всегда должен основываться на минимальной необходимости, особенно, когда выбираются такие параметры, как точность, эксплуатационные качества, плотность проводящего рисунка, а также аппаратура и требуемые испытания, которые определяют уровень технологичности конструкции. Числа, приведённые в многочисленных таблицах, должны использоваться как руководство при определении уровня технологичности для любой характеристики. Специфическое требование к любой характеристике, которая должна быть проконтролирована на конечном этапе, должно быть указано в основном чертеже печатной платы или в сборочном чертеже.

2.0 Применяемая документация

Ниже приведены документы, оформленные как часть данного стандарта для привлечения к ним внимания. При возникновении конфликта между требованиями IPC-2221 и требованиями, перечисленными в приведённых ниже документах, преимущество отдаётся IPC - 2221.

2.1 IPC[1]

IPC- A – 22 Идентификационные тестовые образцы UL

IPC-A-43 Фотошаблон десятого слоя многослойной печатной платы

IPC-A-47 Фотошаблон составного проводящего рисунка десятого слоя

IPC – T- 50 Термины и определения для межсоединений и компоновки электронных схем

тажных печатных плат

IPC – CF – 152 Технические условия на композитные металлические материалы для монтажных печатных плат

IPC – D – 279 Руководство по разработке технологии поверхностного монтажа на печатных платах

IPC – D – 310 Руководство по изготовлению фотошаблонов и методам измерения

IPC – D – 317 Руководство по проектированию быстродействующих электронных схем

IPC – D – 322 Руководство по выбору размеров монтажных печатных плат с использованием заготовок стандартных размеров

IPC – D – 325 Требования к документации на печатные платы

IPC – D – 330 Руководство по проектированию ручным способом

IPC – D – 356 Формат данных электрических испытаний несмонтированной подложки

IPC – D – 422 Руководство по проектированию жестких печатных плат с монтажом соединителей под запрессовку

IPC – TM – 650 Руководство по методам контроля[2]

Метод 2.4.22 С 06/99 Изгиб и скручивание

IPC – CM – 770 Монтаж компонентов на печатные платы

IPC - SM – 780 Компоновка элементов и межсоединений с использованием поверхностного монтажа

IPC – SM – 782 Проектирование с использованием метода поверхностного монтажа и стандартных контактных площадок

IPC – SM – 785 Руководство по ускоренным испытаниям на надежность паяных соединений при поверхностном монтаже

IPC – MC – 790 Руководство по технологии применения многокристального модуля

IPC – CC – 830 Испытания и характеристики электроизоляционного компаунда для печатных плат

IPC – SM – 840 Испытания и характеристики постоянного полимерного покрытия (паяльной маски) на печатных платах

IPC-2141 Печатные платы с контролируемым импедансом и высокочастотной логической схемой

IPC – 2511 Основные требования к выполнению описания данных по изготовлению изделий и методика их передачи

IPC– 2513 Методы составления описания данных

IPC – 2514 Описание данных для изготовления печатной платы

IPC – 2515 Описание данных электрических испытаний несмонтированных печатных плат

IPC – 2516 Готовая продукция. Собранная плата

IPC – 2518 Описание данных изделия в спецификации

IPC – 2615 Печатные платы Размеры и допуски

IPC – 4101 Ламинаты/препреги Стандарт на материалы для печатных плат

IPC-4202 Гибкие диэлектрики для использования в гибких печатных схемах

IPC-4203 Диэлектрические пленки с адгезивным покрытием и гибкие адгезивные соединительные пленки для гибких печатных схем

IPC-4204 Гибкие фольгированные диэлектрики, используемые для изготовления гибких печатных схем

IPC-4552 Технические условия на покрытие химический никель/иммерсионное золото для печатных плат

IPC-4562 Металлическая фольга, используемая для печатного монтажа

IPC – 6011 Характеристики печатных плат Технические условия

---

[1] www.ipc.org

[2] Текущие и пересмотренные IPC Методы испытаний приведены в IPC-TM-650 и на сайте (www.ipc.org/html/testmethods.htm)

IPC – 6012 Испытания и характеристики жестких печатных плат

IPC-7095 Проектирование и выполнение технологического процесса сборки BGA

IPC-9701 Требования к характеристикам и методы испытаний для поверхностного монтажа методом пайки

IPC-9252 Руководство по испытаниям и требования к электрическим характеристикам несмонтированных печатных плат

SMC – TR – 001 Введение в технику автоматического монтажа компонентов с малым шагом выводов на ленте

2.2 Общие промышленные стандарты[3]

J – STD – 001 Требования к паяным электронным и электрическим сборкам

J – STD – 003 Испытания на паяемость печатных плат

J – STD – 005 Требования к паяльным пастам

J – STD – 006 Требования к сплавам припоя электронного класса и к припоям с флюсами и без флюсов, применяемых для пайки в электронике

J – STD – 012 Технология выполнения перевернутого кристалла и корпусов, размеры которых соизмеримы с размерами кристаллов

J – STD – 013 Использование BGA и других компонентов для высокоплотных изделий

2.3 Общество инженеров автомобильной промышленности[4]

SAE-AMS-QQ-A-250 Алюминиевый сплав, листы и покрытия

SAE-AMS-QQ-N-290 Гальванический никель (электроосажденный)

2.4 Американское общество по материалам и испытаниям[5]

ASTM – B – 152 Медные листы, прокатанные и обработанные

ASTM-B-488 Стандарт на технические условия для гальванического покрытия золотом для технического использования

ASTM – B – 579 Технические условия на электроосажденный сплав олово-свинец (паяльное покрытие)

2.5 Uderwriters Labs[6]

UL – 746E Стандарт на полимерные материалы, Материалы, используемые для изготовления монтажных печатных плат

2.6 IEEE[7]

IEEE 1149.1 Стандарт на порт доступа контроля и границы просмотра архитектуры

2.7 ANSI[8]

ANSI/EIA 471 Обозначения и этикетки для электростатически чувствительных компонентов

3.0 Общие требования

Информация, содержащаяся в данной главе, описывает основные параметры, которые должны быть рассмотрены перед и в процессе проектирования.

Предусмотренные физические свойства и выбранные материалы для монтажных печатных плат предполагают сбалансированность электрических, механических и термических характеристик, а также надёжности, изготовления и стоимости плат. Контрольная таблица (см. Табл. 3 - 1) устанавливает предполагаемые последствия изменения каждого параметра или материала. Каждый пункт контрольной таблицы должен быть рассмотрен, если необходимо изменить физическое свойство или материал по одному из установленных правил. Стоимость также может меняться в зависимости от этих параметров, как и от параметров, указанных в Табл.5-1.

Как читать Табл.3-1: Например, в первой колонке таблицы показано, что если толщина диэлектрика заземляющего слоя увеличивается, боковые перекрёстные помехи тоже увеличиваются, в результате характеристики печатной платы снижаются (т.к. боковые перекрёстные помехи не являются требуемым свойством).

[3] www.ipc.org
[4] www.sae.org
[5] www.astm.org
[6] www.ul.com
[7] www.ieee.org
[8] www.ansi.org

Таблица 3-1 Контрольный перечень взаимозависимости конструкции и характеристик печатных плат

Параметр конструкции	Класс электрической характеристики (EP) Механическая характеристика (MP) Надежность (R) Изготовляемость /выход продукции (M/Y)	Параметр характеристики	Воздействие при возрастании параметра конструкции			
			Параметр характеристики		Результат воздействия на характеристику или надежность	
			Увеличивается	Уменьшается	Повышается	Понижаются
Диэлектрическая толщина слоёв земли	EP	Боковые перекрёстные помехи	X			X
	EP	Вертикальные перекрёстные помехи	X			X
	EP	Характеристика импеданса	X		В зависимости от конструкции	
	MP	Физические размеры/вес	X			X
Расстояние между линиями	EP	Боковые перекрёстные помехи		X	X	
	EP	Вертикальные перекрестные помехи		X	X	
	MP	Физические размеры/вес	X			X
	M/Y	Электрическая изоляция	X		X	
Длина соединительной линий	EP	Боковые перекрёстные помехи	X			X
	EP	Вертикальные перекрёстные помехи	X			X
Ширина линий	EP	Боковые перекрёстные помехи		X	X	
	EP	Вертикальные перекрёстные помехи	X			X
	EP	Характеристика импеданса		X	В зависимости от конструкции	
	MP	Физические размеры/вес	X		В зависимости от конструкции	
	R	Целостность сигнального проводника	X		X	
	M/Y	Электрическая целостность	X		X	

Таблица 3-1 Контрольный перечень взаимозависимости конструкции и характеристик печатных плат (продолжение)

Параметр конструкции	Класс электрической характеристики (ЕР) Механическая характеристика (МР) Надежность (R) Изготовляемость /выход продукции (M/Y)	Параметр характеристики	Воздействие при возрастании параметра конструкции			
			Параметр характеристики		Результат воздействия на характеристику или надежность	
			Увеличивается	Уменьшается	Повышается	Понижаются
Толщина линии	ЕР	Боковые перекрёстные помехи	X			X
	R	Целостность сигнального проводника	X		X	
Расстояние между вертикальными линиями	ЕР	Вертикальные перекрестные помехи		X	X	
Z_0 печатной платы по сравнению с Z_0 устройства	ЕР	Отражения		X	X	
Расстояние между стенками переходных отверстий	R	Электрическая изоляция	X		X	
Кольцевая контактная площадка	M/Y	Изготовляемость	X		X	
Сигнальный слой	МР	Физические размеры/вес	X			X
	M/Y	Совмещение слоя со слоем		X		X
Количество сигнальных слоёв	МР	Физические размеры/вес	X			X
	M/Y	Совмещение слоёв		X		X
Шаг выводов компонента и толщина платы	МР	Физические размеры/вес	X			X
	R	Целостность переходного отверстия		X		X
	M/Y	Толщина покрытия переходного отверстия		X		X
Толщина медного покрытия	R	Целостность переходного отверстия	X		X	
Коэффициент соотношения	R	Целостность переходного отверстия		X		X
	M/Y	Изготовляемость		X		X
Толщина покрытия (только Ni – кевлар)	R	Целостность переходного отверстия	X		X	

Таблица 3-1 Контрольный перечень взаимозависимости конструкции и характеристик печатных плат (продолжение)

Параметр конструкции	Класс электрической характеристики (EP) Механическая характеристика (MP) Надежность (R) Изготовляемость /выход продукции (M/Y)	Параметр характеристики	Воздействие при возрастании параметра конструкции			
			Параметр характеристики		Результат воздействия на характеристику или надежность	
			Увеличивается	Уменьшается	Повышается	Понижаются
Диаметр переходного отверстия	M/Y	Толщина покрытия переходного отверстия	X		X	
	R	Целостность переходного отверстия	X		X	
Толщина ламината (основания)	EP	Боковые перекрёстные помехи	X			X
	EP	Вертикальные перекрёстные помехи		X	X	
	EP	Характеристика импеданса	X		В зависимости от конструкции	
	MP	Физический размер/вес	X			X
	R	Целостность переходного отверстия		X		X
	MP	Стабильность поверхности	X		X	
Толщина препрега (основания)	EP	Боковые перекрёстные помехи	X			X
	EP	Вертикальные перекрёстные помехи		X	X	
	EP	Характеристика импеданса	X		В зависимости от конструкции	
	EP	Физический размер/толщина	X			X
	R	Целостность переходного отверстия		X		X
Диэлектрическая постоянная	EP	Отражение	X			X
	EP	Характеристика импеданса		X	В зависимости от конструкции	
	EP	Скорость сигнала		X	В зависимости от конструкции	
CTE -коэффициент термического расширения (внешней поверхности)	R	Целостность переходного отверстия		X		X

Таблица 3-1 Контрольный перечень взаимозависимости конструкции и характеристик печатных плат (продолжение)

Параметр конструкции	Класс электрической характеристики (EP) Механическая характеристика (MP) Надежность (R) Изготовляемость /выход продукции (M/Y)	Параметр характеристики	Воздействие при возрастании параметра конструкции			
			Параметр характеристики		Результат воздействия на характеристику или надежность	
			Увеличивается	Уменьшается	Повышается	Понижаются
СТЕ - коэффициент температурного расширения (внутренней поверхности)	R	Целостность паяных соединений		X		X
	R	Целостность сигнальных проводников		X		X
Температура стеклования смолы (T_g)	R	Целостность переходного отверстия	X		X	
	R	Целостность паяных соединений сквозных металлизированных отверстий	X		X	
Пластичность меди	R	Целостность переходных отверстий	X		X	
	R	Целостность сигнальных проводников	X		X	
Прочность на отслаивание меди	R	Адгезия монтажных площадок к диэлектрику	X		X	
Размерная стабильность	M/Y	Совмещение слоёв	X		X	
Текучесть смолы	M/Y	Пустоты в смоле печатных плат		X	X	
Жесткость	MP	Модуль упругости	X		В зависимости от конструкции	
Содержание летучих	M/Y	Пустоты в смоле печатных плат	X			X

3.1 Иерархия документов

3.1.1 Порядок применения

В случае любого конфликта при разработке новых проектов **должен** быть предусмотрен следующий порядок приоритетного использования документов:

1. Контракт на поставку
2. Основной чертёж и сборочный чертёж (дополненные утверждённым листом отклонений, в случае его использования)
3. Данный стандарт
4. Другие используемые документы

3.2 План проектирования

Процесс создания плана должен включать рассмотрение (анализ) разработанного по установленной форме подробного плана, затрагивающего многие возможные проблемы, включая изготовление, сборку и контроль. Утверждение плана, учитывающего воздействующие на процесс факторы, будет гарантией того, что эти связанные с производством факторы будут учтены при проектировании. Будет ли проект создания структуры межсоединений удачным или неудачным зависит от многих взаимосвязанных обстоятельств. В зависимости от назначения готовой продукции, влияющего на процесс проектирования, должны быть рассмотрены следующие типовые параметры:

- Условия воздействия на аппаратуру окружающей среды, такие как амбиент температур, тепловыделение от компонентов, условия вентиляции, наличие ударов и вибрации.
- Если сборка должна быть пригодна для обслуживания и ремонта, должны быть рассмотрены плотность схемы и расположение компонентов, выбор плат и материалов конформных покрытий и обеспечение доступности компонентов (лёгкости осмотра или ремонта).
- Расположение внутренних соединений, которое влияет на размеры и расположение монтажных отверстий, расположение соединителей, допустимое выступание вывода, размещение деталей, консолей (кронштейнов) и других металлических изделий.
- Требования к контролю для обнаружения ошибок, которые могут влиять на размещение компонентов, контактных соединителей, трассировку проводников.
- Технологический допуск, учитывающий фактор травления (подтравливание) для компенсации ширины проводников, расстояний между ними, контактной площадки и т.д. (см. Разделы 5 и 9).
- Производственные ограничения, такие как минимальные размеры протравливаемого рисунка, минимальная толщина гальванических покрытий, форма и размеры платы и т.д.
- Требования к защитным покрытиям и маркировке.
- Используемые технологии сборки, такие как поверхностный монтаж, монтаж в сквозные металлизированные отверстия и смешанный монтаж.
- Класс характеристик плат (см.1.6.2).
- Выбор материалов (см. Раздел 4).
- Технологичность сборки на печатных платах, которая ограничивает возможность изготовления аппаратуры.
  - Требования к гибкости
  - Требования к электрическим/электронным свойствам
  - Требования к характеристикам
- Чувствительность к электростатическому разряду

3.2.1 Требования к готовой продукции

Требования к готовой продукции **должны** быть известны перед началом проектирования. Требования к текущему ремонту и лёгкости обслуживания являются важными факторами, которые должны быть приняты во внимание на стадии проектирования. Часто эти факторы учитываются при разработке плана и трассировке проводников.

3.2.2 Оценка плотности

Широкое разнообразие материалов и технологических процессов было использовано в течение последней половины века для создания оснований (подложек) электронных устройств, от традиционных печатных плат, изготавливаемых с применением смол (эпоксидных), армирующих материалов (т.е. стеклоткани или бумаги) и металлической фольги (медной), до металлизированной керамики с использованием техники тонких и толстых пленок. Все они имеют общий характерный признак: они должны передавать сигнал по проводникам.

Кроме того, имеются ограничения, связанные с плотностью трассировки. Факторами, определяющими предельную плотность трассировки, являются:

- Шаг/расстояние между переходами или отверстиями в подложке.
- Количество проводников, которые могут быть проложены между этими переходами.
- Количество требуемых сигнальных слоев

К тому же, способы изготовления глухих и переходных отверстий могут облегчать трассировку посредством селективного использования каналов трассировки. Межслойные переходы, которые проходят через всю печатную плату, препятствуют любому использованию пространства на всех проводящих слоях

Кроме того, эти факторы могут быть объединены для создания соответствующего равновесия, определяющего технологические возможности трассировки. Раньше большинство компонентов имело выводы по периферии двух или более сторон. Однако площадь многовыводных компонентов является более консервативной в отношении зазоров и допускает использование больших шагов входа/выхода (см. Рис.3-1).

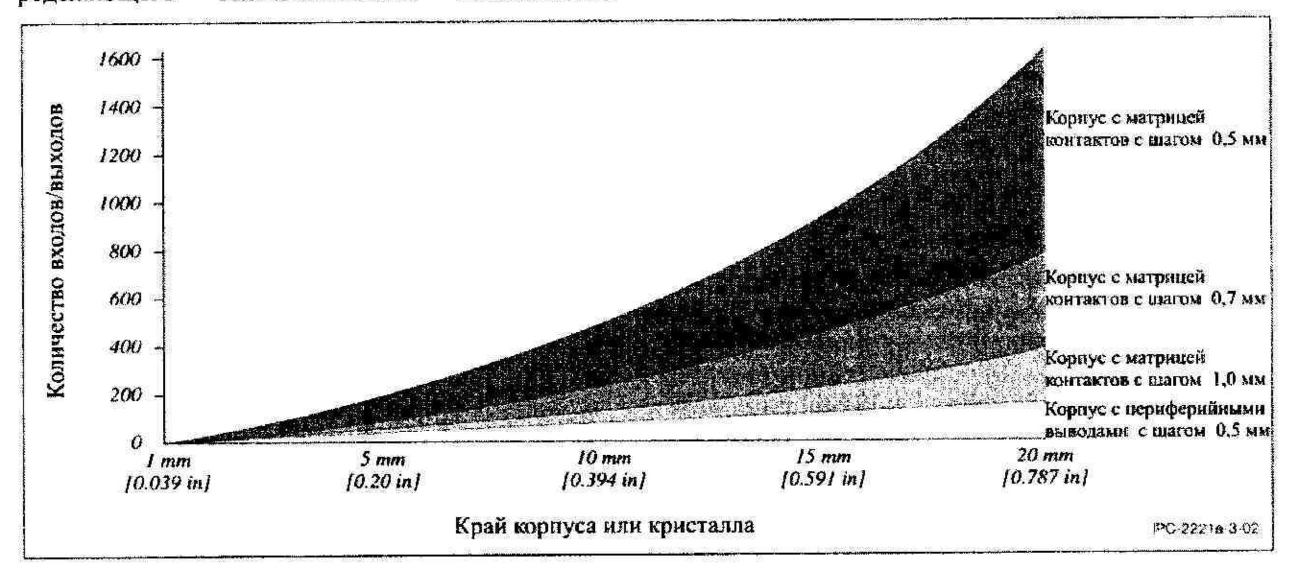


Рис.3-1 Габариты (размер) корпуса и количество входов/выходов

3.3 Принципиальная / логическая схема

Предварительная принципиальная/ логическая схема определяет электрические функции и межсоединения, которые должны быть представлены конструктору печатных плат и сборок на них. Если используется принципиальная схема, то она должна определить критичные участки схемы, требования к экранированию, требования к расположению заземляющих слоёв и слоёв питания, размещению контрольных точек и любых предварительно установленных входящих и выходящих связей. Информация может быть представлена на бумаге или в виде компьютерных данных (ручным или автоматическим способом).

3.4 Перечень элементов

Перечень элементов и материалов, используемых в конструкции сборок на печатных платах, приведён в виде таблицы. Все номера идентифицирумых элементов и материалов **должны** быть указаны в перечне элементов или на поле чертежа. Исключением являются материалы, используемые в производственных процессах, но они могут содержать справочную информацию, т.е. технические требования, относящиеся к изготовлению сборок, и справочные данные для принципиальных/логических схем.

Все механические элементы, видимые на сборке, **должны** быть обозначены номерами, которые **должны** быть одинаковыми с номерами, обозначенными в перечне элементов.

Электрические компоненты такие, как ёмкости, резисторы, плавкие предохранители, IC, транзисторы и т. д. должны быть обозначены номером справочного указателя (E_x, C_5, CR2, F_1, R15, U2, и т.д.). Обозначение электрических компонентов **должно** быть таким же, как обозначение тех же компонентов на принципиальной/логической схеме. Эти рекомендации относятся к группе элементов, подобных перечисленным, т.е. к резисторам, ёмкостям, IC и т.д., к некоторым видам наиболее применимых элементов или цифровых устройств.

Перечень элементов может быть написанным от руки, напечатанным вручную на машинке или изготовленным с использованием компьютера.

3.5 Рассмотрение требований к испытаниям

Контролируемость является важной, когда, например, возможность визуального контроля схемы, контроля плотности и требования к специальным испытаниям должны обсуждаться как часть стратегии испытаний. Обратитесь к Прило-

жению А для выбора критерия оценки контролируемости.

При рассмотрении контролируемости конструкции устанавливается концепция механической обработки и определяется фактическая стоимость инструмента по сравнению со стоимостью , предусмотренной планом проектирования.

В процессе разработки о любых изменениях печатных плат, влияющих на программу контроля или на проверку инструмента, необходимо немедленно сообщить с целью нахождения наилучшего компромиссного решения данной проблемы. Концепция испытаний должна выявлять пути поиска проблемы и нахождения локальных дефектов, если это возможно. Концепция испытаний и требований к ним должна экономически содействовать установлению, устранению и исправлению дефектов проверяемой конструкции, а также созданию условий, обеспечивающих требуемый срок службы сборок на печатных платах.

3.5.1 Контролируемость смонтированных печатных плат

При проектировании печатных плат должны затрагиваться вопросы обеспечения нормального уровня контролируемости разрабатываемых систем (устройств). В большинстве случаев устанавливается локализация дефектов и рассматриваются требования по их устранению в отношении среднего времени ремонта, % эффективных затрат времени на ремонт и максимального времени до ремонта.

Для удовлетворения контрактных требований проектирование может включать вопросы контролируемости дефектов, в связи с чем может быть затрачено много времени на увеличение уровня контролируемости одних и тех же дефектов смонтированных печатных плат. Философский подход к контролируемости сборок на печатных платах требует его совместимости с предельной интеграцией, испытаниями и эксплуатационными расходами (включая текущий ремонт), предусмотренными контрактом.

При определении стратегии испытаний смонтированных печатных плат должны быть рассмотрены такие факторы, как запланированные испытания и интеграция, наличие на смонтированных печатных платах конформного покрытия, ресурсы и возможности контрольного оборудования для выявления дефектов, а также уровень квалификации персонала. Принципы подхода к испытаниям могут быть разными в зависимости от различных этапов программы проектирования. Например, принцип обнаружения и удаления дефектов первого готового узла может быть другой, чем принципы испытаний готового изделия, когда оно готово к поставке.

Перед началом проектирования монтажных печатных плат при рассмотрении концепции проектирования должны быть представлены требования к контролируемости функций устройства (системы). Эти и любые другие установленные требования должны быть разделены для различных сборок на печатных платах и задокументированы. Критерии уровня испытаний сборок на печатных платах и программ испытаний, а также критерии принципов разделения требований к сборкам на печатных платах устанавливаются после изучения данного документа. В Приложении А приведены примеры контрольных листов, которые должны использоваться при проектировании для оценки контролируемости.

Испытания на функционирование и внутрисхемный контроль являются двумя основными типами испытаний сборок на печатных платах. Испытания на функционирование используются для проверки электрических функций конструкции. Подключение плат к испытательным устройствам для определения функционирования осуществляется с помощью соединителя, контрольных точек или контактного устройства. Плата должна быть испытана на функционирование посредством принудительного воздействия на неё через устройство ввода информации до получения в процессе наблюдения данных, свидетельствующих о правильном отклике конструкции на оказанное воздействие.

Внутрисхемный контроль используется для выявления производственных дефектов в модулях (печатных платах с установленными компонентами). В оборудовании внутрисхемного контроля используется игольчатый адаптер, с помощью которого обеспечивается контакт каждой узловой точки на печатной плате модуля. Модуль тестируется посредством контроля по отдельности всех компонентов, установленных на плате. Внутрисхемный контроль обуславливает небольшие ограничения при проектировании. Для модулей с защитным конформным покрытием и множества модулей, выполненных на печатных платах по технологии поверхностного или смешанного монтажа, имеются проблемы физического доступа игольчатого адаптера к плате модуля, что ограничивает применение внутрисхемного контроля. Основные условия для внутрисхемного контроля состоят в том, что (1) контактные площадки или контакты платы модуля должны располагаться на координатной сетке (для совместимости с используемым игольчатым адаптером) и (2) должна быть доступна для адаптера нижняя сторона печатной платы модуля (известная также как сторона без компонентов или сторона пайки волной для технологии монтажа компонентов в

сквозные металлизированные отверстия печатной платы).

Альтернативой традиционному оборудованию внутрисхемного контроля является анализатор производственных дефектов, имеющий меньшую стоимость.

Подобно стенду для внутрисхемного контроля анализатор производственных дефектов выявляет дефекты конструкции модуля на печатной плате. Он выполняет испытания ограниченного типа, главным образом определяет короткие замыкания и обрывы связей без подачи питания на модуль. В серийном производстве с большим объемом выпуска продукции с использованием высокого уровня контроля производственных процессов (т.е. с использованием статистических методов контроля) анализатор производственных дефектов может иметь применение в качестве составной части, реализуемой в рамках общей методики испытаний электронных модулей, выполненных на печатных платах.

Другой альтернативой внутрисхемнго контроля являются безвекторные испытания, требующие небольших затрат. Безвекторные испытания выполняют контроль для обнаружения дефектов производственного процесса, которые связаны с контактами соединителя на поверхностно-монтируемых печатных платах (модулях) и не требуют программирования тест-кодов (test-vector). Эти испытания относятся к измерительным методам с отключённым питанием и состоят из следующих основных типов контроля:

1. *Контроль аналоговых узлов* – измерение постоянного тока на однозначно указанной паре контактов печатной платы модуля, использующего диоды защиты от электростатического разряда, имеющиеся на большинстве выходных контактов устройств с цифровыми или смешанными сигналами.
2. *Контроль высокочастотной индукцией*- магнитная индукция применяется для контроля дефектов устройств, использующих в модулях защитные диоды. Этот метод использует мощные ИС и земляные контакты для измерений с целью обнаружения непропаев в сигнальных цепях компонента, разрывов проволочных соединений и компонентов, поврежденных электростатическим разрядом. Также этим методом можно выявить неправильно ориентированные компоненты (подключенные с неправильной полярностью) Для этого типа контроля требуются приспособления, содержащие магнитные индукторы.
3. *Контроль ёмкостных связей* – этот метод использует ёмкостное взаимодействие для контроля разомкнутых контактов и не полагается на внутреннюю схему компонента, но взамен полагается на наличие металлической рамки выводов компонента для контроля контактов. Этим методом могут быть проконтролированы штекерные соединители и розетки, выводные рамки и правильность полярности конденсаторов.

3.5.2 Контроль граничным сканированием

С применением компонентов с малым шагом выводов плотность компоновки модулей становится всё большей и большей, поэтому физический доступ к узловым точкам модуля для внутрисхемного контроля может стать невозможным. Стандарт граничного сканирования для интегральных схем (IEEE-1149.1) дает средства для выполнения фактического внутрисхемного контроля для облегчения этой проблемы. Архитектура граничного сканирования использует принцип сканирующего регистра, где затраты нескольких контактов входа/выхода и использование специальных сканирующих регистров, размещенных в стратегически важных местах по всей схеме, могут упростить проблему тестирования, сводя её к контролю простых, наиболее комбинированных схем.

Во многих случаях применения включение сканирующих регистров на входе и выходе модуля позволяет испытать модуль. Если схема является очень сложной, то в неё можно включить дополнительные группы сканирующих регистров для сбора промежуточных результатов и применить тест-коды для тренировки узлов схемы.

Полное описание стандартного порта доступа и архитектуру граничного сканирования можно найти в IEEE-1149.1. Порт доступа с возможностями полного контроля не нуждается в существенном увеличении контролепригодности через сканирующие регистры.

При решении вопроса об использовании контроля граничным сканированием как составной части стратегии испытаний следует учитывать полезность элементов граничного сканирования и возврат капиталовложений на основное оборудование и средства программного обеспечения, необходимых для реализации этого метода. Контроль граничным сканированием может осуществляться недорогим стендом на базе персонального компьютера, который при испытаниях требует доступа к модулю через краевой соединитель, или имеющихся функционального, внутрисхемного или гибридного стендов контроля, которые могут быть приспособлены для выполнения контроля граничным сканированием.

3.5.3 Функциональный контроль модулей (сборочных узлов на печатных платах)

При проектировании модуля имеется несколько вопросов по обеспечению функциональной кон-

тролепригодности. Использование контрольных соединителей, проблемы с инициализацией (приведением в исходное состояние) и синхронизацией, цепи длинномерных счетчиков, самодиагностика и физические испытания являются предметами, которые подробно изложены в последующих подпунктах и не должны рассматриваться как учебник по контролепригодности, а скорее как идеи, чтобы преодолеть типичные проблемы функционального контроля.

3.5.3.1 Контроль через соединители Нарушение изоляции плат, покрытых конформным покрытием, или большинства конструкций, выполненных по технологии поверхностного монтажа или смешанной технологии, весьма затруднительно, поскольку защитный лак покрывает схему платы.

Если важные сигналы выходят на контрольный соединитель или на участке печатной платы, где сигналы могут быть сняты контактным зондом (контрольные точки), можно воспользоваться нарушением изоляционного покрытия. Это снижает затраты по выявлению, локализации и устранению дефекта.

Можно также спроектировать схему таким образом, чтобы контрольный соединитель мог быть использован для стимулирования схемы (как например, для передачи данных шины через контрольный соединитель) или отключения (блокирования) функций модуля (как например, отключение несинхронизируемого генератора и добавление одной ступени возможности через контрольный соединитель).

3.5.3.2 Приведение в исходное состояние и синхронизация Некоторые схемы или узлы схемы не требуют никакого приведения в исходное состояние, поскольку схема станет быстро циклировать в предназначенной ей функции. К сожалению, иногда очень трудно синхронизировать стенд для этого типа схемы, поскольку стенд должен быть запрограммирован для инициирования схемы до обнаружения на выходах схемы предопределенной сигнатуры. Достичь этого может быть трудно.

С относительно небольшим изменением в схеме, возможность инициализации обычно может быть встроена в схему, допуская быстрое приведение в исходное состояние модуля, а схема и стенд смогут следовать за ожидаемыми выходными сигналами модуля.

Наличие несинхронизированных генераторов также представляет проблему для тестирования, поскольку это связано с проблемой синхронизации контрольного стенда. Эти проблемы могут быть преодолены посредством (1) добавления схемы контроля для выбора контрольных тактовых импульсов взамен генератора; (2) удалением генератора при испытаниях и введением подачи контрольных тактовых импульсов; (3) отменой сигнала; или (4) разработкой схемы синхронизации для того, чтобы синхронизацией можно было управлять через контрольный соединитель или контрольные точки.

3.5.3.3 Цепи многоразрядного счетчика Другую проблему контролепригодности представляют цепи многоразрядного счетчика в схеме с сигналами, используемыми от многих каскадов цепи счетчика. Контролепригодность может быть очень плохой, если нет средств для предварительного установления счётных цепей на различные значения для облегчения контроля логики, которая управляется от каскадов высшего порядка счётчика.

Контролепригодность является гораздо лучшей, если счётчик цепи разбит на небольшие счётные цепочки (возможно не более, чем на 10 каскадов), которыми можно управлять индивидуально, или если счётчик цепи может быть загружен через программные средства контроля. Программа контроля может затем проверить срабатывание логики, которая работает от каскадов счётчика без потери моделирования и такта контроля, которые будут требовать синхроимпульсов по всей цепи счётчика.

3.5.3.4 Самодиагностика Самодиагностика иногда обусловлена непосредственно контрактом, либо вторичными требованиями. Следует провести тщательный анализ, чтобы определить, как реализовать эти требования.

Часто модуль не имеет функции, которая сама приспособлена для самодиагностики на уровне модуля, но небольшая группа модулей, взятая в блоке, сама приспособлена для хорошей диагностики. Например, сложная функция быстрого преобразования Фурье (БПФ) может быть распространена на соединенные модули. Проблема самодиагностики может быть сложна для какого-либо одного модуля, но она может стать очень лёгкой при разработке схемы, которая диагностирует всю функцию быстрого преобразования Фурье.

Глубина необходимой самодиагностики обычно обеспечивается посредством заменяемого шинного блока, который изменяется в зависимости от требований. Это может быть интегральная схема или секция электроники в зависимости от контракта, функцией схемы или подходом к уровню поддержки аппаратуры в рабочем состоянии.

Для самодиагностики на уровне модуля модуль обычно приводят в состояние контрольного режима работы и затем на вход модуля подают известную совокупность контрольных сигналов и

сравнивают результаты с хранящимся в памяти набором ожидаемых откликов. Если результаты не соответствуют ожидаемым откликам, то это означает отказ самоконтроля модуля . Имеются многие вариации этой схемы. Некоторые примеры:

1. Встраивание модуля в петлю обратной связи с контролем результатов после заранее заданного количества циклов.
2. Применение специальной контрольной схемы или блока центрального процессора для стимулирования и сравнения сигнатуры откликов с известной комбинацией.
3. Выполнение самоконтроля модулем при прокрутке и затем подача результатов на другой (диагностируемый) модуль для сверки откликов, и т.д.

3.5.3.5.Физические испытания Оборудование для функционального испытания модуля обычно очень дорогое и требует высокого мастерства персонала для обслуживания. Если контролепригодность модуля недостаточна, процедура испытаний может быть очень дорогой. Имеется несколько простых физических соображений, которые могут сократить время наладки и, следовательно, общие затраты на испытания.

Ориентация полярных компонентов должна быть унифицированной для того, чтобы оператор не был сбит с толку компонентами, ориентированными на 180^0 по сравнению с другими компонентами модуля. Неполярные компоненты всё ещё нуждаются в идентификации первого контакта/вывода с тем, чтобы оператор ориентировался при размещении зондов, когда в руководстве по программным средствам указывается место зонда для конкретного контакта.

Контрольные соединители более предпочтительны, нежели контрольные точки, для которых требуются контрольные клеммы или подсоединения контрольных проводов. Однако контрольные точки, такие как подступеньки выводов (выступающая за торец вывода компонента часть контактной площадки – примечание переводчика), предпочтительнее фиксирования зажимом вывода компонента. Если подступеньки выводов используются для промежуточного контроля , такого как определение подборного резистора, предполагается, что подступеньки остаются после монтажа подобранного компонента. Это допускает проверку подобранного компонента без переустановки модуля.

Сигналы, которые недоступны для зондов (такие, которые могут случаться для безвыводных компонентов), могут существенно усложнить проблемы локализации дефектов. Если не используются регистры сканирования, рекомендуется, чтобы каждый сигнал имел где-либо на печатной плате модуля контактную площадку или контрольную точку, где этот сигнал можно прозондировать. Также рекомендуется, чтобы контактные площадки, используемые как контрольные точки, располагались на координатной сетке и размещались так, чтобы все зонды были доступны для вторичной стороны печатной платы модуля. Если невозможно обеспечить зондирование каждого сигнала, тогда (1) только важнейшие сигналы должны иметь специальные места для размещения зондов и (2) необходимо увеличить тест-векторы или следует использовать другие методы контроля, чтобы локализовать дефект на уровне одного компонента или небольшой группы компонентов.

Многие дефекты часто обусловлены короткими замыканиями между выводами соседних компонентов, между выводом компонента и проводниками внешних слоев печатной платы или между двумя проводниками наружных слоёв печатной платы. Физическая конструкция должна анализироваться по этим обычным производственным дефектам и не должна затруднять локализацию дефекта из-за отсутствия доступа для прохода сигнала. Для пригодности конструкции к внутрисхемному контролю контрольные площадки для зондов должны быть расположены в координатной сетке с целью использования автоматического зондирования.

Для электрических характеристик иногда требуется разделение схемы по функциям, возможно цифровой части от аналоговой. Важность испытаний также поможет с физическим разделением непохожих функций. Правильное разделение не только схемы, но также контрольных соединителей может помочь улучшить контролепригодность. Конструкции, содержащие цифровые и аналоговые схемы с высокими характеристиками могут потребовать тестирования на двух или более группах испытательного оборудования. Разделение сигналов поможет не только использованию контрольных контактных приспособлений, но и оператору в отладке модуля.

Приспособления как для внутрисхемного контроля, так и для функционального контроля могут оказывать существенное влияние на затраты денежных средств. Обычно для всех схем используются платы стандартного размера или платы нескольких габаритов. Обычно также используется одно или несколько приспособлений. Создание контрольных приспособлений может быть дорогим, также как решение проблем шумов в приспособлениях или настройка приспособлений с контрольным стендом. Если контрольные приспособления спроектированы неправильно, то это не даст возможности выполнить точные измерения на плате при испытаниях. Обычно много уси-

лий тратится на создание контрольных приспособлений в надежде на то, что приспособления будут применяться для всех конструкций модулей на печатных платах. Поэтому ограничение из-за контрольных приспособлений следует учитывать при проектировании модуля на печатной плате. Ограничения для приспособлений могут быть существенными, такими как (1) требование размещения земли и питания на определенных штырях соединителя, (2) ограничения по расположению используемых штырей для быстродействующих сигналов, (3) ограничения по штырям, которые можно использовать для сигналов с низким уровнем шумов, (4) ограничения по мощности, (5) ограничения по току и напряжению на каждом штыре и т. д.

3.5.4 Внутрисхемный контроль модулей на печатных платах

Внутрисхемный контроль используется для обнаружения КЗ, разрывов, неисправных компонентов, перевернутых компонентов, плохих компонентов, неправильной сборки модулей и других производственных дефектов. Внутрисхемный контроль не предназначен ни для обнаружения граничных пределов, ни для проверки критических временных параметров, ни для других электрических функций схемы.

Внутрисхемный контроль цифровых модулей может включать процесс, который известен как обратное управление (backdriving, см IPC-T-50). Обратное управление может быть причиной для генерации элементов, а контрольный стенд может иметь недостаточное управление для выведения элемента из режима циклирования. Обратное управление может выполняться только в контролируемые периоды времени, иначе точка соединения компонента (с перегруженным выходом) будет перегреваться.

Двумя основными проблемами при проектировании печатной платы и модуля на печатной плате для внутрисхемной контролепригодности является конструирование с обеспечением совместимости приспособления для внутрисхемного контроля с электрической схемой. Эти темы подробно обсуждаются в следующих подразделах.

3.5.4.1 Контактирующее приспособление для внутрисхемного контроля Контактирующие приспособления для внутрисхемного контроля обычно называются приспособлениями типа "ложе гвоздей" (игольчатыми адаптерами). Адаптер является устройством с пружинными контактными зондами, которые контактируют с каждой узловой точкой платы при испытаниях. Для создания адаптерам благоприятных условий по контролируемости при проектировании топологии печатной платы модуля следует соблюдать следующие указания:

1. Диаметр контактных площадок металлизированных отверстий или переходных отверстий, используемых как контрольные контактные площадки, зависит от размеров отверстия (см.9.1.1). Диаметр контактных площадок, используемых специально для зонда адаптера, должен быть не менее 0.9мм. На платах площадью до 7700 мм^2 допустимо использовать диаметр контрольных контактных площадок, равный 0.6 мм.
2. Зазоры вокруг контрольного зонда зависят от процесса сборки. Места для зонда должны иметь зазор, равный 80% от высоты соседнего компонента минимум 0.6 мм и максимум 5 мм (см. Рис.3-2).
3. Высота компонента на плате со стороны зонда не должна превышать 5.7 мм. Высокие компоненты могут потребовать вырезов в контактном приспособлении. Контрольные контактные площадки должны быть расположены на удалении 5 мм от высоких компонентов. Это обеспечит допуски на обработку при изготовлении контактного приспособления (см. Рис.3-3).
4. Ни компоненты, ни контрольные контактные площадки не должны располагаться в зоне 3 мм от краёв печатной платы.
5. Все контрольные площадки для зондов должны быть покрыты припоем или неокисляющимся проводящим покрытием. Контрольные контактные площадки должны быть свободны от паяльной маски и маркировки.
6. Зонды устанавливать только на контрольные контактные площадки или переходные отверстия, но не на контакты/зубчатые впадины поверхностно-монтируемых компонентов (см. Рис.3-4). Давление контакта может вызвать разрыв схемы или сделать "хорошим" холодное паяное соединение.
7. Необходимо избегать установки зондов на обеих сторонах печатной платы. Использовать переходные отверстия как контрольные точки на одной стороне, т.е. на нижней стороне платы (сторона платы без компонентов, либо сторона платы, подвергаемая пайке волной горячего припоя для модулей, изготавливаемых по методу смешанной технологии). Это обеспечивает надёжность и меньшие затраты на изготовление контактного приспособления.
8. По возможности контрольные контактные площадки должны располагаться с шагом 2.5мм, что позволит использовать стандартные зонды и более надёжное контактное приспособление.
9. Не использовать концевые печатные контакты платы в качестве контрольных контактных

площадок. Золочёные концевые контакты платы легко повреждаются контрольными зондами.

10. Контрольные контактные площадки следует равномерно располагать по поверхности печатной платы. Неравномерное распределение контрольных контактных площадок или их концентрация в одной зоне печатной платы приводит к изгибу платы, неисправностям при зондировании и проблемам вакуумного уплотнения.
11. Контрольные контактные площадки должны иметь все узловые точки. Узловая точка определяется как электрическое соединение двух или более компонентов. Контрольные контактные площадки требуют обозначения (имя сигнала узловой точки) положения по осям X-Y по отношению к базовой точке печатной платы и их местоположения (описание, по какой стороне печатной платы расположена контрольная контактная площадка). Эти данные требуются для создания контактного приспособления модулей, изготовленных по технологии поверхностного или смешанного монтажа
12. Модули, изготовленные по технологии смешанного монтажа, и платы модулей с компонентами, штыревые выводы которых расположены в координатной сетке, обеспечивают доступ для контроля некоторых узловых точек схемы на стороне запаяных штырей. Штыревые выводы компонентов и переходные отверстия, используемые в качестве контрольных контактных площадок должны быть идентифицированы обозначением положения узловых точек схемы по осям X-Y по отношению к базовой точке печатной платы. Использование запаяных монтажных площадок компонентов и соединителей в качестве контрольных точек уменьшает количество создаваемых контрольных контактных площадок.

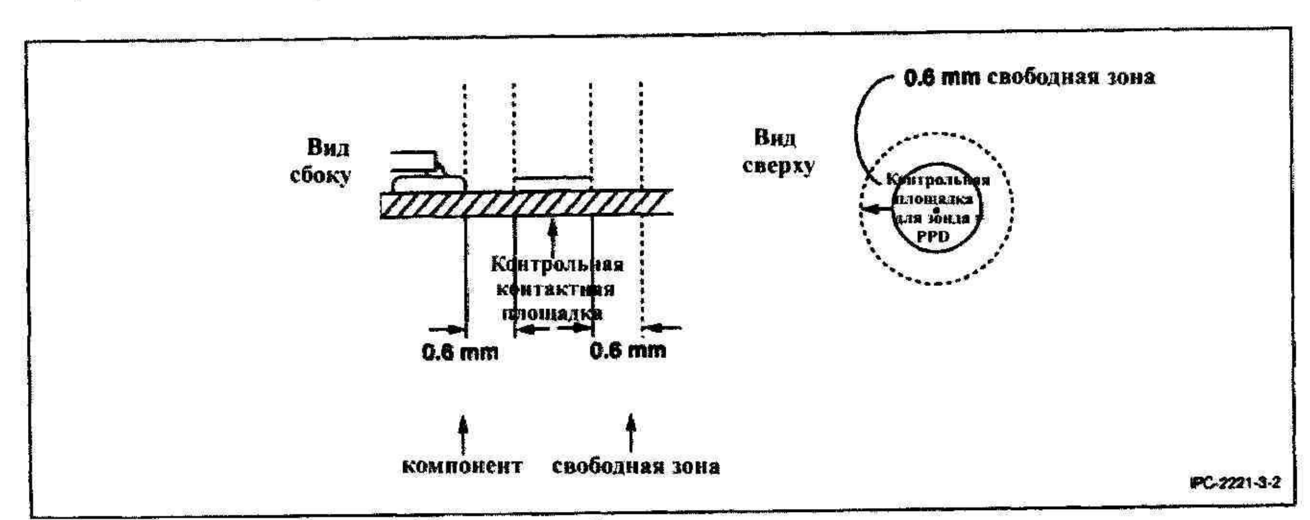


Рис.3-2 Свободная зона контрольной контактной площадки для компонента

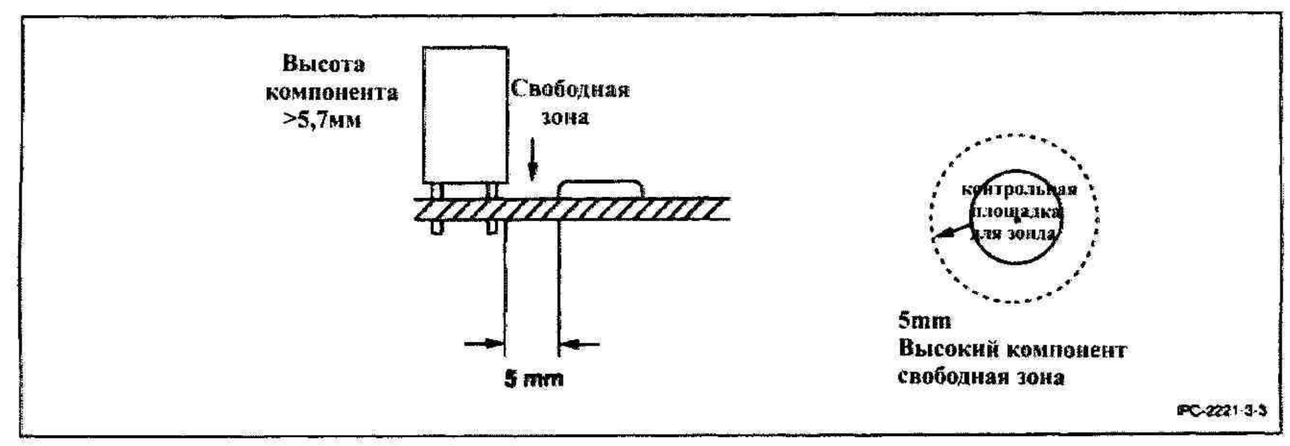


Рис. 3-3 Свободная зона контрольной контактной площадки для высоких компонентов

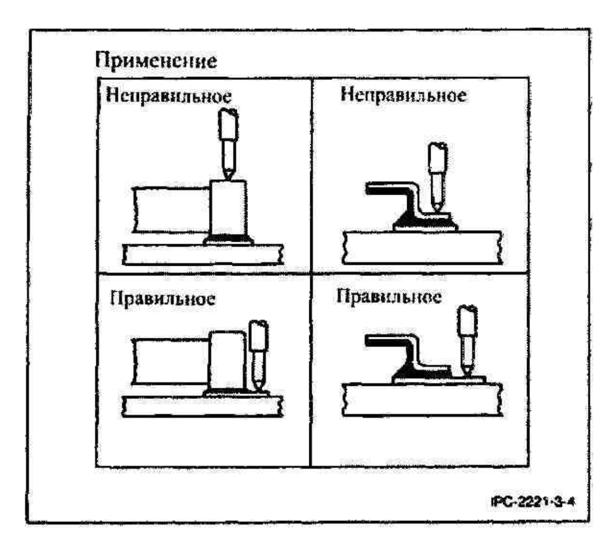


Рис.3-4 Зондирование контрольных контактных площадок

3.5.4.2 Электрические аспекты внутрисхемного контроля Для создания благоприятных условий по внутрисхемной контролепригодности при разработке топологии печатной платы модуля должны учитываться следующие электрические аспекты:

1. Проводные линии управления передачей сигналов не должны идти непосредственно от штырей на землю, V_{cc} или общий резистор. Отключенные линии управления на компоненте могут сделать невозможным применение стандартной библиотеки внутрисхемного контроля. Специальный тест уменьшает охват дефектов и увеличивает затраты на программу.
2. Для внутрисхемного контроля предпочтительны устройства с однонаправленным входом и выходами с тремя состояниями. Основаниями для тристабильных выходов являются: (1) контрольные стенды имеют ограниченное количество направлений, (2) проблемы обратного управления исчезнут и (3) упростится создание программ. Например, затраты на программу уменьшатся для программируемой матричной логики (PAC) с тристабильными выходами. Использование резервного входа для подключения дополнительного нагрузочного сопротивления, которое будет включать нормальное срабатывание на верхнем уровне и тристабильные выходы устройства на нижнем уровне.
3. Вентильные матрицы и компоненты с большим количеством контактов не пригодны для внутрисхемного контроля. Обратное управление не является проблемой для одного контакта, но для большого количества контактов обратное управление имеет ограничения. Для всех устройств с тристабильными выходами рекомендуется линия управления или одно направление.
4. Доступ к узловым точкам и невозможность охватить все узловые точки при применении стандартных стендов внутрисхемного контроля является усиливающейся проблемой. Если стандартные методы контроля не могут быть использованы для определения дефектов поверхностно-монтируемого компонента, то должны быть разработаны альтернативные методы контроля.

Для модулей на печатных платах, изготовленных по технологии поверхностного монтажа, должны быть разработаны альтернативные методики испытаний с ограниченными узловыми точками. Примером этого является тестирование, при котором плата расчленяется по совокупностям сгруппированных компонентов. Каждая группа должна иметь управляющие линии (для контролепригодности) и контрольные контактные площадки для электрического отключения группы компонентов от других компонентов или групп компонентов в процессе тестирования.

Другим альтернативным методом тестирования с целью выявления разрывов цепей, КЗ и правильных компонентов является метод граничного сканирования. Эта встроенная схема для тестирования (электронный адаптер) создает усиленный импульс на участке модуля с поверхностным монтажом. Требования к граничному сканированию изложены в стандарте 1149.1 IEEE.

3.5.5 Механические требования

3.5.5.1 Однотипность соединителей Контактные приспособления для тестирования наиболее часто сконструированы для автоматического или полуавтоматического сочленения соединителей, расположенных на печатной плате, или модулей на печатных платах с концевыми контактами. Соединители должны быть размещены для возможности быстрого сочленения и должны быть одинаковыми и совместимыми (стандартными) по отношению к печатной плате от одной конструкции к другой. Аналогичные типы соединителей должны иметь ключ, либо следует использовать геометрию печатных плат для обеспечения правильного сочленения и предотвращения электрического повреждения схемы.

3.5.5.2 Однотипность размещения контактов и уровни сигналов в соединителях Расположение контактов в соединителе должно быть одинаковым для уровней питания постоянного и переменного токов, общим для постоянного тока и земли шасси. т.е. контакт номер 1 всегда соединяется с тем же самым контактом относительно точки питания схемы для каждой конструкции платы. Стандартизация расположения контактов снизит затраты на контактное приспособление для тестирования и облегчит диагностику.
Сигналы с большим различием по величине должны быть отделены для минимизации помех.
Логические сигналы должны размещаться на предварительно указанных контактах соединителя.

3.5.6 Электрические требования

3.5.6.1 Испытания несмонтированной платы Испытания несмонтированной платы **должны** выполняться в соответствии с IPC-9252. Если для испытаний будут использоваться данные, указанные на поле чертежа, форма и тип образцов в этом случае будут определяться выбранным методом контроля.

Испытания несмонтированной печатной платы выполняются поставщиком и включают проверки целостности схемы, сопротивления изоляции и электрической прочности изоляции. Поставщики могут также проводить испытания для проверки импеданса схемы. Испытания на целостность схемы выполняются для проверки целостности цепей и наличия ненужных связей (отсутствие коротких замыканий). Испытания сопротивления изоляции и стойкости к электрической прочности изоляции выполняются для определения достаточности расстояния между проводниками и толщины диэлектрика.

Имеется два основных типа испытаний для контроля целостности цепей: с использованием "золотой" (эталонной) платы или с использованием "интеллектуального" метода контроля. При испытании с использованием "золотой" платы испытывается плата с установленными значениями параметров и результаты её испытаний используются для испытаний остальных плат в партии. Если в "золотой " плате имеются дефекты, то во всех остальных платах эти дефекты не будут определены. При втором типе испытаний проверяется каждая плата в соответствии с таблицами соединений. В этом случае не будут пропущены дефекты, которые могли быть не установлены при испытаниях с использованием "золотой" платы.

Конструкции, в которых не все электрические цепи расположены с одной стороны платы (платы с глухими или внутренними переходными отверстиями, с компонентами на двух сторонах и с переходными отверстиями, перекрытыми паяльным резистом, или платы, соединённые с обеих сторон теплоотводами) требуют устройства для проведения испытаний с переворачиванием платы или с использованием устройства "панцирь моллюска"(clamshell). При испытаниях с переворачиванием проверяется одна сторона платы, а затем другая на двух разных контактных устройствах. Цепи, которые требуют соединения (контактирования) обеих сторон, не оцениваются. При испытаниях с использованием устройства "панцирь моллюска" (clamshell) два контактных приспособления обеспечивают контакт с обеими сторонами платы одновременно и способны контролировать все связи. Эти два способа испытаний дороже, чем испытания, выполняемые только с одной стороны платы.

Следующие вопросы **должны** быть рассмотрены перед началом проектирования.

3.5.6.2 Испытания проводящего рисунка для поверхностного монтажа Обычно при испытаниях несмонтированной платы используются приспособления с подпружиненными штырями, контактирующими с металлизированными отверстиями. На проводящем рисунке для поверхностного монтажа, как правило, конечными точками цепи являются не отверстия, а площадки для по-

верхностного монтажа. Ниже приводятся две стратегии проведения испытаний:

А. Устанавливается контакт с переходным отверстием, которое соединено с контактной площадкой и визуально проверяется целостность соединения переходного отверстия с контактной площадкой. Переходные отверстия могут быть сконструированы таким образом, чтобы они располагались в одном и том же шаге координатной сетки, что снизит необходимость в специальном приспособлении для каждой стороны. Цилиндры сквозных металлизированных отверстий, которые используются для внутреннего электрического соединения, не должны подвергаться воздействию зондов, если только нет уверенности, что усилие воздействия на них не является достаточно низким, а зонды не разрушают цилиндры в точке соприкосновения с ними. Эти цилиндры могут растрескаться или отслоиться от контактной площадки на внутреннем слое, если они подвергаются механическому воздействию.

В. Испытание с использованием контактной площадки. При таком способе зондирования требуется специальное контактное устройство, поскольку площадки для поверхностного монтажа могут быть расположены вне шага координатной сетки. Кроме того, система компьютерного проектирования позволяет размещать конечные точки цепей предпочтительно на переходных отверстиях, а не на контактных площадках, которые могут потребовать согласования размещения контрольных точек.

3.5.6.3 Испытание спаренных печатных плат, припрессованных к основанию.

По меньшей мере, используется два способа электрических испытаний:

А. Раздельное испытание верхней и нижней припрессованных к основанию печатных плат. Если имеются металлизированные отверстия, обеспечивающие межсоединение с одной стороны на другую, то требуется ручной электрический контроль или визуальный контроль целостности отверстия.

В. При использовании устройства типа "панциря моллюска" (clamshell) верхняя и нижняя печатные платы могут быть испытаны одновременно. Использование первого метода испытаний потребует обеспечения данными для электроконтроля двух сторон платы. Если схема имеет выход на обе стороны печатной платы, данные для электрических испытаний должны быть разделены по крайней мере на две части с окончанием цепей в месте соединения одной стороны с другой. Испытания с использованием проверенной годной платы будут обеспечены данными в указанной выше форме автоматически.

3.5.6.4 Исходная точка

Электрические испытания и цифровые контрольные данные должны иметь общую исходную точку для облегчения конструирования контактного приспособления для электрического испытания.

3.5.6.5 Испытательные точки

Если требуется конструкцией, испытательные точки **должны** быть предусмотрены в виде части проводящего рисунка и **должны** быть идентифицированы в комплекте чертежей. Переходные отверстия, широкие проводники или контактные площадки для поверхностного монтажа могут рассматриваться как контрольные точки, имеющие достаточную поверхность, пригодную для зондов и обеспечивающую целостность переходных отверстий, проводников и мест присоединения выводов компонентов. Точки для зондов должны быть свободны от непроводящих материалов покрытия таких, как паяльный резист или конформное покрытие.

3.6 Оценка плана

3.6.1 План (схема) проектирования плат

Схема проектирования от одной платы к другой должна быть такой, чтобы обозначенные участки были предназначены для выполнения одних и тех же функций, т.е. источник питания, аналоговая схема и логическая схема должны располагаться каждая на своем определенном участке.

Это будет способствовать минимизации боковых перекрёстных помех, упрощению конструкции контактных приспособлений для испытаний несмонтированных печатных плат и сборок, а также облегчению диагностики при поиске неисправностей. Кроме того, при проектировании необходимо:

- Гарантировать, что компоненты имеют все необходимые контрольные точки на печатной плате для лёгкого доступа при зондировании с использованием для испытаний одностороннего контактного приспособления.
- Обеспечить расположение сквозных и монтажных отверстий вдали от краёв печатной платы для обеспечения при испытаниях необходимого расстояния до контактного приспособления.
- Обеспечить разработку концепции испытаний для плат, спроектированных без использования координатной сетки.

- Предусмотреть изоляцию элементов схемы для облегчения проведения испытаний и диагностики.
- Если это целесообразно, предусмотреть расположение группы контрольных точек и мест соединения в одних и тех же местах платы.
- Учесть стоимость деталей для муфтового соединения для обеспечения лёгкой замены элементов.
- При проектировании плат для поверхностного монтажа предусмотреть требования к оптическому контролю с целью учёта необходимости использования методов и оборудования для оптического контроля позиционирования и визуальной проверки (см. 5.4.3).

Компоненты для поверхностного монтажа и их расположение требуют специального рассмотрения вопросов доступа зондов при испытаниях, особенно если компоненты монтируются на обе стороны платы и имеют очень большое количество выводов.

3.6.1.1 Концепция плана проектирования

При подготовке плана проектирования описываются физические размеры и указывается расположение всех электронных и механических компонентов, а также приводится достаточно подробная схема проводников, осуществляющих электрическое соединение компонентов, для подготовки документации и фотошаблонов.

3.6.2 Оценка допустимой плотности

После утверждения документации на принципиальную/логическую схему, перечней элементов и готовых изделий и требований к испытаниям, перед началом разработки чертежей должна быть сделана оценка допустимой плотности. Она должна быть выполнена с учётом максимальных размеров всех элементов, включённых в перечень, и суммарного расстояния, которое требуется для них и контактных площадок, за исключением проводников межслойных соединений.

Общую площадь платы, требуемую для монтажа компонентов, необходимо сравнить с общей используемой для этих целей поверхностью печатной платы. Приемлемыми максимальными значениями соотношения этих величин являются 70% для Уровня А, 80% для Уровня В и 90% для уровня С. Значения плотности установки компонентов, больше указанных, должны быть причиной для беспокойства. Снижение этих значений – это наиболее лёгкий путь проектирования, воздействующий на стоимость печатных плат.

На Рис.3-5 приведена рекомендуемая поверхность печатных плат для стандартных размеров плат, приведённых на Рис.5-1.

В Табл. 3-2 приведена площадь, занимаемая элементами (с шагом выводов 0,5 мм) на печатной плате, для различных элементов. Например, 14-ти выводный корпус элемента с двухрядным расположением выводов, предназначенный для монтажа в сквозные металлизированные отверстия, занимает суммарно 84 элемента координатной сетки. Площадь контура, включающая компонент и контактную площадку, имеет количество элементов, равное 24 х 42 с расстоянием между линиями сетки, равным 0,5 мм. Размер линии контура с 20 элементами координатной сетки составляет 10 мм, а с 42 элементами координатной сетки – 21 мм. Эта поверхность, занимаемая компонентом, должна быть частью поверхности печатной платы. Контур компонента не включает элементы координатной сетки для трассировки проводников на участке с внешней стороны контактной площадки. Общая площадь, занимаемая компонентом, сравнивается с общей занимаемой площадью, включающей имеющиеся проводники, и определяется плотность, выраженная в процентах.

Альтернативным методом оценки плотности является выражение плотности в квадратных сантиметрах, эквивалентных SOIC. Шестнадцативыводный SOIC занимает приблизительно один $см^2$ площади платы. На Рис.3-6 приведена таблица для определения эквивалента SOIC для различных компонентов и общего эквивалента SOIC, используемого на плате. На это число делятся суммарные используемые квадратные сантиметры печатной платы. Приемлемым максимальным значением плотности являются 0.55 $см^2$ в SOIC для Уровня А, 0.50 для Уровня В и 0.45 для Уровня С. Значение плотности может возрастать при увеличении количества слоёв печатной платы. Кроме того, при применении технологии поверхностного монтажа потенциал используемой площади платы теоретически удваивается.

Размеры платы (Рис.5-1)	Общие размеры		Используемые размеры		Используемая площадь		
	Высота, мм	Ширина, мм	Высота, мм	Ширина, мм	мм²	Элемент координатной сетки с шагом 0.5 мм	см²
A1	80	60	65	50	3200	12800	32
B1	170		155		7700	30800	77
C1	260		245		12200	48800	122
D1	350		335		16700	66800	167
A2	80	120	65	110	7100	28400	71
B2	170		155		17000	68000	170
C2	260		245		26900	107600	269
D2	350		335		36800	147200	368
A3	80	180	65	170	11000	44000	110
B3	170		155		26300	105200	263
C3	260		245		41600	166400	416
D3	350		335		56900	227600	569
A4	80	240	65	230	14900	59600	149
B4	170		155		35600	142400	356
C4	260		245		56300	225200	563
D4	350		335		77000	308000	770

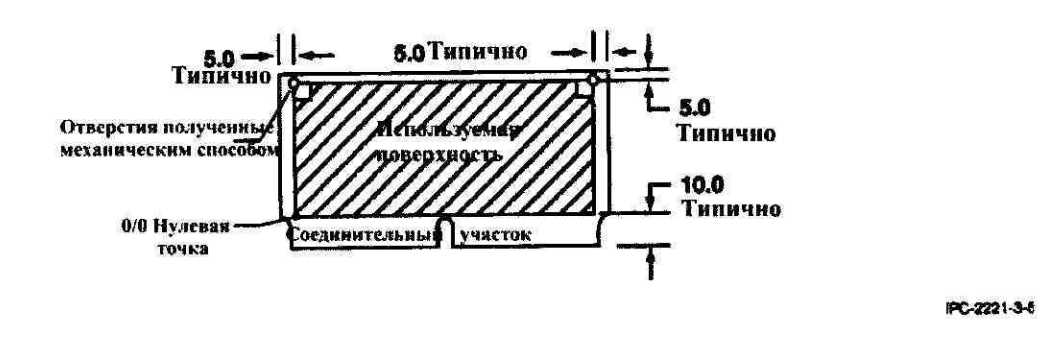


Рис.3-5 Образец расчёта используемой площади, мм (Определение используемой поверхности, включающей допустимое расстояние до участка концевых контактов платы , направляющего участка или участка для экстрактора платы)

3.7 Требуемые характеристики

Готовые печатные платы **должны** соответствовать требованиям IPC-6011 и применяемым частным техническим условиям.

Печатные платы Оценка плотности			Дата выпуска	№ Пересмотр
Описание: SOIC в $см^2$				
Наименов. компонента	**# компонента**	**или**	**IC эквивалент**	**Комментарии**
8 SOIC		.50		
14 SOIC		1.00		
16 SOIC		1.00		
16L SOIC		1.00		
20 SOIC		1.25		
24 SOIC		1.50		
28 SOIC		1.75		
18 PLCC		1.13		
18L PLCC		1.13		
20 PLCC		1.25		
28 PLCC		1.75		
44 PLCC		2.75		
52 PLCC		3.25		
68 PLCC		4.25		
84 PLCC		5.25		
SOT 23		0.19		
SOT 89		0.19		
SOMC 1401		1.00		
SOMC 1601		1.00		
2012 (0805)		0.13		
3216 (1206)		0.13		
3225 (1210)		0.13		
4564 (1812)		0.13		
MLL 34		0.13		
MLL 41		0.13		
другие				

Общий IC эквивалент ________________

Общая площадь платы ________________ **(X)** = **$см^2$** **$см^2$**

Используемая площадь платы (X) = **Используемая площадь платы**

Критерий проект.

Аналог.	Цифровой
PWB& GYD Sz	

Разработано	Дата	Утверждено	Дата

Рис.3-6 Оценка плотности печатной платы

Табл.3-2 Площадь координатной сетки с компонентами

Обозначение компонента	Тип[1]	Количество элементов координатной сетки[2] с шагом 0.5мм	
D07 без контура для снятия напряжения	THT	6 x 24	144
D07 с контуром для снятия напряжения	THT	6 x 28	168
T05	THT	20 x 20	400
T024	THT	10 x 10	100
CK05	THT	6 x 12	72
CM05, 13000pF	THT	20 x 44	880
CM06, 400pF	THT	12 x 26	312
RC07	THT	6 x 20	120
RC20	THT	10 x 26	260
RN60	THT	10 x 30	300
CQFP-10 T090	SMT	6 x 12	192
CQFP-28	SMT	34 x 34	1156
CQFP-144	SMT	68 x 68	4624
3216 (1206)	SMT	4 x 10	40
4564 (1825)	SMT	14 x 12	168
6032	SMT	6 x 18	144
DIP-14	THT	20 x 42	840
DIP-14	SMT	22 x 42	924
DIP-24	SMT	22 x 60	1320
DIP-24L	SMT	26 x 64	1664
SOD87/MLL-41	SMT	6 x 14	84
SOT23	SMT	8 x 8	64
SOT89	SMT	12 x 10	120
SOT143	SMT	8 x 8	64
SQFP 7x7-40	SMT	22 x 22	484
SOIC-20W	SMT	28 x 24	672
SOIC-36X	SMT	48 x 24	1152
TSOP 10x20	SMT	22 x 44	968
SOJ 26/350	SMT	24 x 34	816

[1]THT=технология монтажа в сквозные металлизированные отверстия, SMT= технология поверхностного монтажа.

[2] Поверхность координатной сетки, включающая контур компонента и поверхность контактных площадок. Не включено расстояние до трассировки проводников

4.0 Материалы

4.1 Выбор материала

Конструктор должен выбрать для рассмотрения несколько материалов в зависимости от уровня сложности конструкции и специализации. При выборе материала конструктор должен сначала установить, каким требованиям должны соответствовать платы. Эти требования включают требования к температуре (пайки и рабочую), электрическим характеристикам, способам выполнения межсоединений (паяемые компоненты, соединители), структурной прочности и плотности схемы.

Если конструкция состоит из материалов с различными температурными характеристиками, то максимальная допустимая температура готового изделия должна быть ограничена наиболее низкой температурой используемого материала.

Другими важными характеристиками при выборе материала являются:

Тип смолы,

Горючесть (стойкость к воспламенению),

Температурная стабильность,

Структурная прочность,

Электрические свойства,

Стойкость к изгибам,

Максимальное время воздействия рабочей температуры, не вызывающее повреждений,

Температура стеклования (T_g),

Армирующий листовой материал,

Нестандартные размеры и допуски,

Способность к механической обработке и штамповке,

Коэффициент термического расширения (СТЕ),

Стабильность размеров, и

Предельные допуски на толщину.

4.1.1 Выбор материалов для обеспечения структурной прочности

Первый этап проектирования, которым является выбор материала, состоит в подробном описании требований к условиям работы, т.е. требований к стойкости при воздействии условий окружающей среды, вибрации, ударов, усиленной нагрузки (перегрузки), а также требований к электрическим и механическим характеристикам.

Выбор материала должен проводиться из стандартных структур во избежание удорожания и сверхнормативных затрат времени. С целью получения лучшего баланса свойств выбор из нескольких отобранных материалов должен быть оптимизирован.

Материалы должны быть легко доступны в отношении требуемых размеров и формы. Специальные ламинаты могут быть более дорогими и иметь более продолжительный срок службы. Специальные ламинаты должны быть проанализированы на соответствие всех параметров, рассматриваемых в данной главе.

Должны быть также рассмотрены такие вопросы, как механическая обработка, технологический процесс, его стоимость и общие технические условия на сырьевые материалы.

В дополнение к этим параметрам, структурная прочность печатной платы должна обеспечивать её стойкость к воздействию сборочных операций и к воздействию рабочих процессов.

4.1.2 Выбор материалов для обеспечения требований к электрическим свойствам

Некоторыми критичными свойствами, которые должны быть рассмотрены, являются: электропрочность, диэлектрическая постоянная, влагостойкость, гидролитическая устойчивость. Проконсультируйтесь с изготовителем ламината по вопросу использования материала для обеспечения специфических требований к платам.

4.1.3 Выбор материалов для обеспечения необходимых свойств в условиях воздействия окружающей среды

В Табл.4-2 приведены свойства материалов в условиях воздействия окружающей среды для некоторых наиболее распространённых типов смолы. Установленные значения являются типичными и могут изменяться в зависимости от разных поставщиков материала. Проконсультируйтесь с изготовителем ламината по поводу использования материала для обеспечения специфических требований к платам.

4.2 Диэлектрическое основание материала (включая препреги и адгезивы)

Склеивающие материалы, описанные в следующих параграфах, **должны** использоваться для соединения слоёв медной фольги, нефольгированного ламината, фольгированного ламината или поверхности теплоотвода между собой.

4.2.1 Предварительно пропитанный склеивающий слой (препрег)

Препрег **должен** соответствовать типам, перечисленным в IPC-4101 или UL746E. В большинстве случаев препрег должен содержать смолу и армирующий материал тех же типов, что фольгиро-

ванный медью ламинат. Тип армирующего материала, номинальная текучесть смолы, номинальная толщина вытекшей смолы, номинальное время гелеобразования и номинальное содержание смолы являются стандартными параметрами, продиктованными технологическим процессом изготовления печатных плат.

Если это не продиктовано проектируемой конструкцией, значения указанных параметров **не должны** включаться в основной чертёж, но **должны** быть определены и указаны в поставочной документации изготовителем печатных плат.

4.2.2 Адгезивы

Адгезивы, используемые в конструкции печатных плат, изготавливаются с использованием перечисленных пяти основных типов смол, обладающих широким диапазоном свойств. Наряду с требованиями к качеству или прочности соединения, критерии оценки адгезива включают твердость, коэффициент термического расширения (CTE), интервал рабочих температур, диэлектрическую прочность, условия отверждения и содержание летучих. В некоторых случаях структура адгезива может быть достаточной для использования в теплостойких соединениях (см.4.2.5). Каждый тип адгезива имеет свои сильные и слабые свойства.

Выбор типа смолы для адгезива должен быть основан на свойствах соединяемых материалов и их совместимости.

Для соответствующей активации соединяемых поверхностей может потребоваться специальная обработка в активаторе. При выборе технологического процесса необходимо также рассмотреть точную цель соединения и условия окружающей среды, в которых оно будет использоваться. Должна быть также рассмотрена грибостойкость материалов. Не все адгезивы используются для прямого применения в электронной продукции или тесно связанной с ней продукции из-за их химических или диэлектрических свойств. Некорректный выбор материалов может привести к разрушению или отказу продукции.

Большинство недостатков адгезива связано с недостаточным вниманием при выборе материалов. Условия хранения и срок годности для большинства адгезивов имеют ограничения.

Табл.4-1 Типичные свойства наиболее распространённых типов диэлектрических материалов

Свойство	Материал					
	FR-4 (эпоксидный на основе стеклоткани типа E)	**На основе многофункциональной эпоксидной смолы**	**Эпоксидный с высокими характеристиками**	**На основе бисмалеимидтриазина/эпоксида**	**На основе полиимида**	**На основе цианатного эфира**
Диэлектрическая постоянная (чистой смолы)	3.9	3.5	3.4	2.9	3.5-3.7	2.8
Диэлектрическая постоянная (армирующий материал/смола[1])	-	-	-	-	-	-
Электропрочность[2] (v/mm)	$39.4x10^3$	$51.2x10^3$	$70.9x10^3$	$47.2x10^3$	$70.9x10^3$	$65x10^3$
Объемное сопротивление (Д-см)	$4.0x10^6$	$3.8x10^6$	$4.9x10^6$	$4x10^6$	$2.1x10^6$	$1.0x10^6$
Водопоглощение (wt %)	1.3	0.1	0.3	1.3	0.5	0.8
Фактор рассеяния ($Д_x$)	0.022	0.019	0.012	0.015	0.01	0.004

[1]Относительно оценки диэлектрической постоянной см. Табл.6-2.

[2] Значение электропрочности обычно устанавливается при испытаниях ламината с толщиной основания, равной 0.125мм. Эти значения не должны использоваться для высоковольтных конструкций с минимальным диэлектрическим зазором, т.е менее 0.09мм.

Табл.4.2 Свойства наиболее распространённых диэлектрических материалов

Свойства	Материал					
	FR-4 (эпоксидный на основе стеклоткани типа Е)	На основе многофункциональной эпоксидной смолы	Эпоксидный с высокими характеристиками	На основе бисмалеимидтриазина/эпоксида	На основе полиимида	На основе цианатного эфира
Термическое расширение по XY(ppm/^{0}C)	16-19	14-18	14-18	~15	8-18	~15
Термическое расширение по оси Z ниже T_g[3] (ppm/^{0}C)	50-85	44-80	~44	~70	35-70	81
Температура стеклования T_g (^{0}C)	110-140	130-160	165-190	175-200	220-280	180-260
Модуль изгиба (x 10^{10}Pa) Fill[1] / Warp[2]	1.86 / 1.20	1.86 / 2.07	1.93 / 2.20	2.07 / 2.41	2.69 / 2.89	2.07 / 2.20
Предел прочности на разрыв (x 10^8Pa) Fill[1] / Warp[2]	4.13 / 4.82	4.13 / 4.48	4.13 / 5.24	3.93 / 4.27	4.82 / 5.51	3.45 / 4.13

[1] Fill- нити, которые переплетаются в поперечном направлении ткани

[2] Warp –нити, которые переплетаются в продольном направлении ткани

[3] Расширение по оси Z при температуре выше T_g может быть в четыре раза выше. Для FR-4 оно составляет 240-390 ppm. Для получения информации по другим специфическим материалам свяжитесь с поставщиком.

4.2.2.1 Эпоксидная смола

Эпоксидная смола находится в числе наиболее универсальных адгезивов, используемых для обеспечения необходимого сопротивления изоляции и механической связи. Она обладает широким диапазоном физических и электрических свойств, включая адгезионную и когезионную прочность, твердость, химическую стойкость, теплопроводность и термическую вакуумную стабильность. Она пригодна к отверждению различными способами в широком временном диапазоне. Необходима тщательная проверка материала, основанная на его запланированном применении. Во избежание возникновения проблем наряду с другими свойствами должны быть приняты во внимание коэффициент термического расширения и температура стеклования. Для специфического применения и в зависимости от температурного диапазона эпоксидные смолы используются с разными наполнителями и армирующими материалами.

4.2.2.2 Силиконовые эластомеры

Силиконовые эластомеры используются в основном для придания эластичности материалам с высокими электрическими и механическими свойствами при температуре окружающей среды и экстремальных температурах. Имеется несколько методов отверждения, включая использование влаги, солей металла и другие. В электронике следует избегать применения силиконовой смолы, т.к. она выделяет уксусную кислоту. Следует учесть, что такие свойства, как прочность соединения, предел прочности на разрыв, твёрдость у силиконовой смолы ниже, чем у эпоксидной. При продолжительной выдержке в некоторых химикатах силикон может набухать и растворяться. Некоторые соли металлов, отверждающие силикон, могут воздействовать на тетрафторэтиленовый (TFE) и политетрафторэтиленовый (PTFE) мате-

риалы. Конформные покрытия, отличные от силиконовых, обычно не прилипают к отвержденным силиконовым материалам. Силиконовые эластомеры часто используются в качестве мягкого покрытия для деталей, которые должны быть полностью закрыты впоследствии твердым консервирующим компаундом.

Если требуется высокая термическая вакуумная стабильность, то пригоден силикон высокой степени очистки. Используется также силиконовый гель, который приводит к улучшению такого свойства, как укрывистость. Эти материалы обычно требуют применения физических ограничителей одноразового использования для сохранения их формы.

4.2.2.3 Акриловые смолы

Акриловые смолы быстро отверждаются, имеют хорошие электрические и адгезионные характеристики и обладают достаточной твердостью. Их химическая стойкость ниже, чем у эпоксидных смол. Температура стеклования этих материалов также несколько ниже.

4.2.2.4 Полиуретановые смолы

Типов полиуретановых адгезивов почти также много, как и эпоксидных. Эти предлагаемые материалы в основном являются стойкими, высокоэластичными, имеют широкий диапазон твердости и обладают хорошей адгезией. Некоторые уретановые компаунды известны как отличные демпфирующие материалы, используемые в условиях воздействия вибрации и ударов. Влагоустойчивость и химическая стойкость являются сравнительно высокими, но зависят от конкретного продукта, как и термическая вакуумная стабильность. Многие уретановые смолы могут сравнительно часто применяться как местный демпфирующий компаунд при наличии вибрации.

4.2.2.5 Специализированные адгезивы на основе акрилата

Эта категория адгезивов включает цианоакрилаты (мгновенного отверждения) и анаэробные адгезивы (отверждаемые без воздуха). Цианоакрилат обеспечивает прочное соединение за несколько секунд без катализатора, если на поверхности имеется небольшое количество влаги. Анаэробные адгезивы отверждаются в условиях отсутствия кислорода. Оба типа адгезива могут обеспечивать высокую исходную прочность соединения и могут использоваться для крепления монтажа и временного соединения. Быстроотверждаемые адгезивы обычно имеют недостаточную стойкость и подвержены разрушению при воздействии влаги и температуры выше 82°С. Анаэробные адгезивы способны противостоять воздействию высоких температур, но могут терять прочность при длительном воздействии химикатов.

4.2.2.6 Другие адгезивы

Имеется много других форм и типов адгезивов, включающих полиэстер, полиамид, полиимид, каучуковую смолу, винил, адгезивы, чувствительные к давлению. Необходимость их использования определяется конструкцией и требованиями к характеристикам. Конкретный выбор должен быть сделан с учётом возможности их использования, зависящей от совместимости оборудования и технологического процесса.

4.2.3 Склеивающие плёнки или листы

Склеивающие плёнки или листы используются для соединения теплоотводов, армирующих (укрепляющих) слоёв и т.д. или в качестве изоляторов в соответствии с IPC-4203 или IPC-4101.

Имеющиеся типы склеивающих плёнок часто используются в слоистых структурах. Способность склеивающих плёнок к предварительной резке для получения соответствующей формы или размеров является несомненным преимуществом при изготовлении некоторых изделий. Склеивающие плёнки на основе эпоксидной смолы обеспечивают очень высокую прочность соединения, но требуют повышенной температуры отверждения.

Печатные платы со сквозными металлизированными отверстиями и теплоотводы могут быть соединены вместе с помощью сухих эпоксидных склеивающих листов для улучшения отвода тепла и стойкости к вибрации. Эти склеивающие листы, представляющие собой пропитанную эпоксидной смолой стеклоткань, нарезаются в соответствии с конфигурацией теплоотвода, помещаются между печатной платой и теплоотводом и отверждаются под воздействием тепла и давления. Отвержденный адгезив является прочным, устойчивым к вибрации, экстремальным температурам и растворителям. В большинстве случаев достаточна толщина склеивающих листов, равная 0.1мм; при необходимости можно использовать двойную толщину.

4.2.4 Электропроводящие адгезивы

Адгезивы этого типа в основном содержат проводящие наполнители, такие как графит или серебро, введенные в состав полимерной смолы для создания электропроводности. Объемное сопротивление и электропроводность материала могут варьироваться в широком диапазоне значений в зависимости от его применения и зависят от типа используемого наполнителя и его количества. Прочность соединения этих материалов может изменяться в зависимости от наполнителя.

Для получения проводящих адгезивов обычно используются силиконовые эластомеры, эпоксидные и уретановые смолы. Наиболее прочное соединение обычно обеспечивает эпоксидный проводящий адгезив, за ним следует силиконовый эластомер и на третьем завершающем месте находится уретановый адгезив. Определённое влияние на величину предела прочности на разрыв этих материалов оказывают условия отверждения и содержание наполнителя. При выборе проводящего адгезива для конкретного применения должны приниматься во внимание прочность соединения, используемая температура, влияние на соединение коэффициента термического расширения и объемное электрическое сопротивление или требуемая электропроводность.

4.2.5 Теплопроводящие/электроизоляционные адгезивы

Теплопроводящие адгезивы являются разновидностью эпоксидных, силиконовых, уретановых и некоторых акрилатных материалов с наполнителем. Наполнителями обычно являются порошкообразные окись алюминия или окись магния.

4.2.5.1 Эпоксидные материалы

Предлагаемые эпоксидные материалы обеспечивают наибольшую прочность соединения и лучшую стойкость к растворителям в сочетании с хорошей теплопроводностью и электросопротивлением. Т.к. адгезивы имеют более двух составляющих, выбор катализатора влияет на условия отверждения и в конечном счёте воздействует на температуру стеклования, поскольку она в некоторой степени зависит от условий отверждения.

4.2.5.2 Силиконовые эластомеры

Силиконовые эластомеры характеризуются относительно низкой прочностью соединения и меньшей твердостью, чем эпоксидные адгезивы. Они имеют меньшую стойкость к воздействию растворителей, чем эпоксидные адгезивы и являются двухкомпонентными системами с разными свойствами в зависимости от состава. Теплопроводность и электрическое сопротивление являются удовлетворительными.

Силиконовые эластомеры могут получаться в условиях повышенной влажности или отверждением при нагреве с использованием ускорителей отверждения. Они хорошо отверждаются в контакте с большинством материалов, за исключением бутила и хлорированного каучука, некоторых RTV[1] силиконовых эластомеров и остатков (residues) некоторых отверждающих веществ. В некоторых случаях может понадобиться грунтовка.

4.2.5.3 Уретановые адгезивы

Уретановые адгезивы могут иметь твердость, прочностные и электрические свойства в широком диапазоне значений в зависимости от различного соотношения смолы и отверждающих веществ. Консистенция может изменяться от мягкой, резиноподобной до твердой. Отсутствие ограничений оптимальных предельных значений применяемых состояний является преимуществом предлагаемых наполненных уретановых адгезивов.

Уретановые адгезивы характеризуются относительно низкой прочностью соединения и более низкой твердостью по сравнению с эпоксидными адгезивами. Они менее устойчивы к воздействию растворителей, чем эпоксидные адгезивы; они являются двухкомпонентными системами, свойства которых изменяются в зависимости от их состава. Они имеют удовлетворительную теплопроводность и электрическое сопротивление.

4.2.5.4 Использование структурных адгезивов в качестве токопроводящих адгезивов

При проектировании, когда теплопроводность не является критичной, использование структурных адгезивов вместо теплопроводящих адгезивов может быть допустимо при проведении соответствующего анализа и может быть более полезной альтернативой в отношении стоимости.

4.3 Слоистые материалы

Слоистые материалы должны быть выбраны из IPC-4101 или IPC–4202. Если требования разработаны Underwriters Labs (UL), то материалы, используемые для изготовления печатных плат, должны быть одобрены UL.

Платы **должны** быть спроектированы таким образом, чтобы внутренний подъем температуры вследствие протекания в проводниках электрического тока, а также из-за всех других причин нагрева границы раздела проводник/слоистый материал не привел в результате к превышению максимальной рабочей температуры сборки.

При выборе материала **должна** учитываться максимальная рабочая температура, рассчитанная с учетом тепла, рассеиваемого смонтированными на печатной плате элементами, общего внутреннего повышения температуры аппаратуры, а также установленного рабочего амбиента температуры.

Температура горячих участков **не должна** превышать температуру, указанную для выбранных материалов.

Для определения максимальной рабочей температуры слоистых материалов см. IPC-2222. Ис-

[1] RTV- клей –герметик, вулканизирующийся при комнатной температуре.

пользуемые материалы (медная фольга, препрег, теплоотвод, фольгированные ламинаты и т.д.) **должны** быть указаны в основном чертеже.

4.3.1 Окраска

Натуральная окраска сырья является предпочтительной, т.к. любой добавленный пигмент для изменения цвета может вызвать замедление процесса пропитки смолой для полного смачивания каждого стеклянного волокна. При отсутствии полной смачиваемости влага может захватываться материалом. Окрашивание сырья не должно применяться, т.к. материалы обычно становятся дороже. Может быть также неизбежное замедление выпуска продукции из-за отсутствия пригодного окрашенного сырья. Если требуется окрашенное сырьё, это **должно** быть указано в поставочной документации.

4.3.2 Диэлектрическая толщина/расстояние

Минимальная диэлектрическая толщина/расстояние **должны** быть указаны в основном чертеже.

4.4 Проводящие материалы

Основной функцией металлических покрытий является участие в формировании проводящего рисунка. Кроме выполнения этой главной функции покрытия обеспечивают коррозионную защиту, увеличивают срок пригодности плат к пайке, снижают электрическое сопротивление проводников. Требования к толщине и целостности металлических покрытий на готовых платах **должны** соответствовать Табл. 4-3 с учетом класса аппаратуры. Если другие требования не указаны в основном чертеже, то металлические и защитные покрытия должны соответствовать требованиям, приведенным в 4.4.1.- 4.4.8.

Необходимо уделять внимание взаимодействию разнородных металлов на поверхностях соединителей, муфт и других разделительных поверхностях. Результатом неудачного выбора материала может быть снижение механических или электрических функций.

4.4.1. Химическое медное покрытие

Химическая медь осаждается на поверхность и в сквозные отверстия печатных плат в результате обработки просверленных заготовок в ряде химических растворов. Как правило, это является первым этапом процесса осаждения покрытия, толщина которого обычно составляет от 0,6 до 2,5 мкм. Процесс химического меднения может также использоваться для наращивания медного покрытия на полную толщину при аддитивном способе нанесения покрытия.

4.4.2 Полупроводящее покрытие

Полупроводящее покрытие для прямой металлизации используется в качестве проводящего стартового покрытия, осаждаемого на стенки отверстия перед гальваническим меднением. Оно должно быть требуемого качества, быть пригодным для последующего осаждения металла и **не должно** мигрировать. Этот технологический процесс обычно устанавливается изготовителем и не указывается в основном чертеже. Обычно используются палладий или олово. Тонкий слой осаждается на незащищенную поверхность, главным образом внутри просверленных отверстий, что обеспечивает автокаталитическое химическое осаждение меди на их поверхность.

4.4.3. Медное гальваническое покрытие

Электролитическая медь может осаждаться из нескольких различных электролитов, включая фторборатный электролит меднения, цианидный, сернокислый и пирофосфатный электролиты меднения. Сернокислый и пирофосфатный электролиты меднения получили наибольшее распространение для нанесения медного покрытия требуемой толщины на поверхность и в сквозные отверстия. Эти типы электролитов обычно используются для получения окончательного медного покрытия требуемой толщины.

4.4.4. Осаждение золота

Для осаждения золота на печатные платы используются разные виды покрытий. Это могут быть электролитические, химические или иммерсионные осадки. Электролитические осадки могут иметь 24к мягкого золота, 23+к твердого золота (для обеспечения необходимой твердости используется небольшое количество кобальта, никеля или железа, которые осаждаются совместно с золотом) или покрытие может быть сплавом с низкой твердостью (14к-20к) для некоторых случаев применения. Золотое покрытие используется для нескольких целей:

1. Для использования в качестве самосмазки и для защиты от потемнения концевых контактов плат (см. Табл.4-3). Для этих целей наиболее часто используется твердое золотое покрытие.
2. Для предотвращения окисления подслоя покрытия, такого как никель и химический никель, для обеспечения паяемости и продления срока службы. Наиболее часто для этих целей используется электролитическое, иммерсионное и химическое золото (см. Табл.4-3 для определения толщины покрытия).
3. Для обеспечения проволочного (проводного) соединения. Для этой цели используется мяг-

[2]Толщина медного покрытия относится к поверхности и стенкам отверстия.

[3] Для плат Класса 3, имеющих просверленные отверстия диаметром < 0.35 мм и коэффициент соотношения >3.5:1, минимально тонкое медное покрытие в отверстии **должно** составлять 25 мкм.

[4] Низкий коэффициент соотношения глухих переходных отверстий рассматривается для отверстий, изготавливаемых с использованием механизма контроля их глубины (т.е. с помощью лазера, механического способа, с использованием плазмы или фотоспособа).

[5] См. также 4.4.7, Паяльное покрытие

4. Для обеспечения электропроводящей поверхности на монтажных печатных платах, если используются электропроводящие адгезивы. Рекомендуемая минимальная толщина составляет 0.25 мкм.
5. Для использования в качестве травильного резиста при изготовлении печатных плат. Рекомендуемая минимальная толщина составляет 0.13 мкм.

К электролитическому осаждённому золоту часто предъявляются требования в соответствии с ASTM-B-488 тип и качество покрытия выбираются в зависимости от применения. Если золотое покрытие используется для электрического или проводного соединения, то между золотым покрытием и основным металлом **должен** наноситься малонапряжённый никель или химический никель.

Покрытие химический никель-иммерсионное золото **должно** соответствовать IPC-4552. В Табл.4-4 приведены некоторые варианты использования золота различных проб.

Таблица 4-4 Использование золотого гальванического покрытия

Минимальная чистота	Твердость по Кнупу (Knoop)	Контакты	Проводное соединение	Пайка
99.0	130-200	S	C*	C**
99.0	90 макс.	NR	S	C**

S – пригодно для использования

NR – не рекомендуется C – использование в зависимости от условий применения

*Может использоваться в зависимости от типа проволочного соединения. Перед использованием необходимо провести испытания.

** Толщина золота на плате или выводе более 0.8 мкм может привести к хрупкости паяного соединения.

4.4.5 Никелевое покрытие

Никелевое покрытие имеет двойное назначение: 1) Находясь под золотым покрытием, обеспечивает повышенную твердость золота; 2) Является барьерным слоем (если его толщина превышает 2.5 мкм), препятствующим диффузии меди в золото. Диффузия может происходить при комнатной температуре, снижая электрические характеристики и устойчивость к коррозии контактов. Все электролитические осадки никелевого покрытия **должны** быть малонапряженными и соответствовать AMS-QQ-N-290, Класс 2, при этом толщина **должна** соответствовать Табл.4-3.

Никель в качестве подслоя выполняет функции:

Барьерного слоя:

- Для предотвращения диффузии меди из базового металла (и цинка из бронзы) в поверхность драгоценного металлического покрытия.
- Для предотвращения взаимодиффузии между базовым металлом и верхним золотым покрытием, которая приведет к образованию нежелательного сплава или интерметаллического соединения на границе раздела.

Выравнивающего слоя:

- Для создания более однородной поверхности, чем поверхность базового металла, с целью обеспечения низкой пористости верхнего золотого покрытия (например, выравнивающий слой никеля на шероховатой подложке).

Ингибитора коррозии:

- Подслой никеля под верхним золотым покрытием должен формировать пассивную окисную пленку в основании пор в условиях влажного воздуха, обеспечивая среду, не приводящую к значительному содержанию загрязняющих кислотных агентов (таких как SO_2 или HCl).

Ингибитора потемнения золота:

- Подслой никеля будет препятствовать образованию темных медных пленок на золоте, если потемнение вызывается наличием пор или незащищенными медными краями.

Несущего подслоя для контактных поверхностей:

- Твердый никелевый подслой может служить в качестве несущего основания для верхнего золотого покрытия с целью предотвращения растрескивания твердого золота и уменьше-

ния износа драгметалла при скольжении контактных поверхностей.

4.4.6 Олово/свинцовое покрытие

При необходимости покрытие олово-свинец используется при субтрактивном процессе изготовления печатных плат в качестве травильного резиста и паяльного покрытия. Обычно при травлении 2^x-унциевой меди достаточно 8 микрон покрытия, но это является требованием технологического процесса изготовления, а не конструкторским требованием. Чаще всего гальваническое покрытие оплавляется одним из нескольких способов (в горячем масле, ИК-оплавлением, выдержкой в инертной горячей жидкости или парах). В результате оплавления на поверхности и в сквозных отверстиях печатных плат образуется истинный сплав. Оплавление является необходимым, но если предъявляются требования к плоскостности поверхности, должно применяться неоплавленное покрытие. Оплавление способствует также сохранению паяемости в течение длительного времени. Покрытие олово-свинец не применяется для внутренних переходных металлизированных отверстий, которые не выходят на поверхность печатных плат.

Покрытие олово-свинец **должно** соответствовать требованиям ASTM-B-579.

4.4.6.1 Оловянное покрытие

Оловянное покрытие используется при субтрактивном методе изготовления плат для защиты меди от травления.

4.4.7 Нанесение припоя

Для покрытия припоем, в основном, используется метод погружения в расплавленный припой с последующим удалением излишков припоя струями горячего воздуха, масла или паров, подаваемых под давлением на поверхность печатных плат в специальных установках.

Покрытие припоем не используется для внутренних переходных или закрытых сквозных металлизированных отверстий, расположенных внутри печатной платы и не выходящих на поверхность.

Если иначе не указано в основном чертеже, припой, используемый в качестве паяльного покрытия, **должен** соответствовать J-STD-006. Для специфического применения толщина паяльного покрытия может быть указана отдельно. Оценивается только качество паяльного покрытия, без измерения его толщины, но с проверкой паяемости с помощью испытаний в соответствии с J-STD-003 (см. Табл.4-3). Заказчик может, если необходимо, перед испытаниями на паяемость провести старение покрытия.

4.4.8 Другие металлические покрытия для концевых контактов

Дополнительно к упомянутым покрытиям для рассмотрения конструктором могут потребоваться другие покрытия.

- Родий – покрытие с низким контактным сопротивлением для плоских схем, переключателей или для схем с большим числом переключений. Основным является избежание больших расходов.
- Сплав олово-никель – покрытие, стойкое к истиранию.
- Сплав палладий-никель – покрытие с низким контактным сопротивлением. Иногда может применяться для плоских схем.
- Химический никель и иммерсионное золото – покрытие с низким контактным сопротивлением для аппаратуры с низким числом переключений.

4.4.9 Металлическая фольга/плёнка

4.4.9.1 Медная фольга

Имеется два типа используемой фольги: (W) – катаная и (ED) – электроосаждённая. Существует несколько классов медной фольги. В основном, электроосажденная фольга используется для жестких печатных плат. Для гибких печатных плат обычно используется катаная фольга. Фольга любого типа **должна** соответствовать требованиям IPC-4562. Исходная толщина медной фольги для соответствующих классов аппаратуры **должна** отвечать требованиям, указанным в Табл.4-5 (после проведения технологического процесса толщина меди на внутренних слоях может уменьшиться). Детальные свойства фольги приведены в Приложении IPC-4562.

4.4.9.2 Медная плёнка

Медная плёнка должна соответствовать требованиям, приведенным в Табл.4-5. Необходимо отметить, что свойства электроосажденной медной фольги, приведенные в IPC-4562, не отвечают требованиям к конструкции и применению многих печатных плат. Эти особые случаи учтены в IPC-4562/1 (CV-E1), IPC-4562/2 (CV-E2) и IPC-4562/3 (CV-E3). В то время как характеристики большей части изготовленной фольги, продаваемой по этим листам спецификации, намного превышают минимальные значения, некоторое количество продаваемой продукции соответствует данным техническим условиям. Поэтому они предусматривают получение свойств современных материалов для критической продукции.

Табл.4-5 Требования к медной фольге/плёнке[1]

Тип меди	Класс 1-3
Минимальная исходная толщина медной фольги (для внешних слоев)	1/8 унции/фут^2 (5 мкм)
Минимальная исходная толщина медной фольги (для внутренних слоев)[2]	1/4 унции/фут^2 (9 мкм)
Исходная толщина медной плёнки (полуаддитивный метод)	5 мкм
Окончательная толщина медной плёнки (полностью аддитивный метод)	15-20 мкм

1. Все приведённые значения размеров являются номинальными и определяются измерением веса.
2. 1/8 унции/фут^2 (5 мкм) может использоваться для внутренних межслойных переходов.

4.4.9.3 Другие плёнки/фольги

При использовании других фольг или плёнок (никель, алюминий и т.д.) их характеристики **должны** быть указаны в основном чертеже.

4.4.9.4 Металлическое основание

Металлическое основание плат **должно** соответствовать требованиям Табл.4-6.

Таблица 4-6 Металлическое основание

Материал	Технические условия	Сплав
Алюминий	QQ-A-250	Как указано в основном чертеже
Сталь	QQ-S-635	Как указано в основном чертеже
Медь	ASTM-152 IPC-MF-150	Как указано в основном чертеже
Медь-инвар-медь Медь-молибден-медь	IPC-CF-152	Как указано в основном чертеже
Другие	Определяет заказчик	Как указано в основном чертеже

4.4.10 Материалы электронных компонентов

4.4.10.1 Внутренние резисторы

Технология, включающая изготовление внутренних резисторов, значительно более затратная, чем стандартная технология изготовления многослойных печатных плат. Это объясняется необходимостью использования специальной медной фольги, аддитивной технологии получения изображения и травления и проверки сопротивления. Одним из требований к печатным платам, предъявляемым при изготовлении по указанной технологии, является наличие на них реальных дискретных компонентов (real estate). Некоторые высокоплотные конструкции не позволяют использовать дискретные резисторы. В этом случае возможно применение внутренних резисторов, т.к. они занимают значительно меньше места и допускают расположение над ними поверхностно-монтируемых компонентов или схем.

Кольцевые резисторы могут быть выполнены в виде кольца, окружающего каждое переходное отверстие, проходящее через схемные слои. Кольцо, предназначенное для резистора, должно быть экранировано для снижения количества факторов, влияющих на окончательную величину сопротивления. Резистор данного типа используется преимущественно в качестве нагрузочного или согласующего выходного резистора, имеющего допуск ±10% или больше. Стоимость изготовления этого резистора может быть намного меньше, чем резистора, устанавливаемого на поверхность, он не требует места на поверхности печатной платы. Главными ограничениями применения этих резисторов являются большой допуск на сопротивление и ограниченное количество типов.

4.4.10.2 Внутренние конденсаторы

Распространённые конденсаторы являются элементами конструкции, в которой поверхности земли и питания размещаются прямо на внешнем слое в непосредственной близости друг к другу. Расположение двух поверхностей на расстоянии 0.1 мм или меньше создаёт "сэндвич", который обеспечивает низкую индуктивность, высокую ёмкостную связь для активных элементов на печатной плате. Это означает быстрое включение (переключение), низкие токи утечки в быстродействующей вычислительной технике, для которой требование удаления размещаемой на поверхности ёмкости или EMI (электромагнитной помехи) является ключевой проблемой. Для большинства конструкций "сэндвич" питание/земля используется для замены существующих слоёв земли и питания, имеющихся в печатной плате. Как правило, шунтирующая ёмкость, равная 0.1 μF и меньше, может быть заменена на печатной плате.

4.5 Органические защитные покрытия

4.5.1 Покрытие паяльным резистом (паяльная маска).

Покрытия и маркировка **должны** быть совместимы друг с другом и с другими деталями и материалами, используемыми в печатных платах, и с технологическим процессом сборки на печатных

платах, включая подготовку/очистку, требуемую перед их использованием. IPC-SM-840 предназначен для определения совместимости плат изготовителя и сборочных процессов.

Используемый для покрытия паяльный резист **должен** соответствовать требованиям IPC-SM-840. Если требуется, для плат Класса 3 **должен** использоваться паяльный резист Класса Н по IPC-SM-840. Если приняты требования Underwriters Laboratories (UL), то используемое защитное покрытие должно быть одобрено UL для применения в технологическом процессе изготовителя печатных плат.

Если паяльный резист используется в качестве изоляционного материала, диэлектрические свойства покрытия **должны** быть достаточными для сохранения электрической целостности. Резист не должен находиться на участках печатных плат, предназначенных для соединения с проводниками.

В случае использования, максимальная и/или минимальная толщина паяльной маски **должна** быть указана в основном чертеже. Минимальная требуемая толщина необходима для соответствия требованиям к сопротивлению изоляции и **должна** быть рассчитана по техническим условиям на материал. Требования к максимальной толщине необходимы для компонентов сборочного процесса, например, для применяемой паяльной пасты.

Адгезия паяльного резиста к плавящейся металлической поверхности (покрытие припоем, оловосвинец и т.д.) не может быть гарантирована, т.к. при воздействии на плату температуры плавящийся металл перераспределяется. Если паяльный резист необходимо наносить на плавящуюся металлическую поверхность, рекомендуемая максимальная ширина проводника при полном перекрытии проводника защитным покрытием **должна** составлять 1.3 мм.

Если проводники с плавящимся металлом имеют ширину более 1.3 мм, то при проектировании необходимо обеспечить сквозные высвобождения в металле до материала основания. Размер высвобождения должен составлять по крайней мере 6.45 мм^2 и располагаться в шаге координатной сетки не более 6.35 мм. Если проводящие участки с плавящимся металлом должны быть свободны от покрытия паяльным резистом, то конструкция печатных плат **должна** быть такой, чтобы паяльный резист перекрывал плавящийся металл не более, чем на 1.0мм.

Требованиями к конструкции может быть предусмотрена защита переходных отверстий от доступа технологических растворов, используемых при пайке, в процессе очистки и т.д. Если требуется защита, то переходные отверстия **должны** быть перекрыты постоянным паяльным резистом или другим полимерным покрывным материалом (не конформным покрытием) или заполнены соответствующим полимером для предохранения от доступа технологических растворов. Перекрытие (тентинг) или заполнение переходных отверстий **должно** быть выполнено таким образом, чтобы отверстия были перекрыты или заполнены с двух сторон.

Если для переходных отверстий используется тентинг, то максимальный окончательный диаметр переходного отверстия **должен** составлять 1.0 мм для Классов аппаратуры 1 и 2 и 0.65 мм для аппаратуры Класса 3.

Для переходных отверстий печатных плат, диаметр которых больше максимально допустимого, наличие тентинга **должно** быть согласовано между заказчиком и изготовителем печатных плат.

Появление шариков припоя при сборке может быть связано с обработкой поверхности паяльной маски, т.е. с матовостью, блеском и т.д.

4.5.1.1 Адгезия резиста

Адгезия паяльного резиста к материалу основания и паяльного резиста к фольге **должна** быть достаточной для всех предусмотренных участков. Могут быть использованы оксидирование, двойная обработка меди, защитная химическая обработка или другие виды обработки, повышающие адгезию. Способ подготовки поверхности должен быть одобрен заказчиком.

Если печатные платы имеют большие медные поверхности без высвобождений, площадь которых более 625мм^2, рекомендуется использование промоторов адгезии. Если полимерное покрытие требуется нанести на неплавящийся металл, такой, например, как медь, то в конструкции необходимо предусмотреть защиту от окисления проводников, не покрытых резистом, если не указано иначе.

4.5.1.2 Расстояние до резиста

Жидкие сеткографические покрытия требуют большего зазора (типично 0.4-0.5мм), чем фотоотверждаемые резисты (типично 0-0.13мм). Свободные участки должны быть предусмотрены для обеспечения надежной сборки.

Данные файлов обычно содержат информацию об одинаковых расстояниях до контактных площадок. Это позволяет изготовителям печатных плат устанавливать зазор в соответствии с возможностями его технологического процесса, если соответствующее требуемое минимальное расстояние указано в основном чертеже.

Взаимосвязь резист – контактная площадка **должна** отвечать требованиям к точности совмещения, установленным основным чертежом.

4.5.2 Конформные покрытия

Если требуется, конформные покрытия **должны** соответствовать требованиям IPC-CC-830 и **должны** указываться в основном чертеже или в основном сборочном чертеже. Если предъявляются требования, разработанные UL, то покрытия, используемые изготовителем печатных плат, **должны** быть одобрены UL. Конструктор должен быть осведомлен о совместимости покрытия. Конформное покрытие является электроизоляционным материалом, сохраняющим форму печатных плат и их компонентов. Оно применяется с целью улучшения диэлектрических свойств поверхности и защиты от воздействия условий окружающей среды. Конформное покрытие не требуется на поверхности или участках, которые не имеют проводников. Конформное покрытие обычно не требуется на краях печатных плат.

4.5.2.1 Типы конформного покрытия и толщина

Конформное покрытие может относиться к одному из типов, указанных ниже. Толщина конформного покрытия каждого указанного типа должна соответствовать приведенным значениям при условии ее измерения на плоской свободной поверхности:

Тип AR - акрилатная смола 0.03. – 0.13 мм

Тип ER - эпоксидная смола 0.03 – 0.13 мм

Тип UR - уретановая смола 0.03 – 0.13 мм

Тип SR - силиконовая смола 0.05 – 0.21 мм

Тип XY - параксилиленовая смола 0.01 – 0.05 мм

Для конформных покрытий используются три главных категории материалов: силиконовые эластомеры, органические материалы и парилен. Все три типа обеспечивают различный уровень защиты от растворителей, влаги, коррозии, электрической дуги и других факторов окружающей среды, которые могут оказывать отрицательное воздействие на рабочие характеристики схем (см. Табл. 4-7). Многие технологии (способы) поверхностного монтажа не могут адекватно выполняться без использования конформного покрытия из-за плотного расположения выводов и контактных площадок. В условиях воздействия ударов и вибрации конформные покрытия большой толщины могут использоваться в качестве демпфирующего материала. Наличие излишков конформного покрытия под компонентами в корпусе DIP может привести к механическому воздействию на паяные соединения при термоциклировании, если не приняты соответствующие меры предосторожности.

Таблица 4-7 Функциональные конформные покрытия

Тип	Преимущества	Недостатки
Силиконовые эластомеры	Стойкость к воздействию экстремальных циклических температур. Хорошая стойкость к периодическому воздействию растворителя. Низкий модуль упругости, лёгкое удаление, гибкость. Хорошо работает на большинстве паяльных резистов и не требует очистки от флюсов. Легко дорабатывается.	Низкая стойкость к механическому истиранию. Диэлектрическая прочность значительно меньше, чем у органических соединений. После нанесения покрытия может снижаться паяемость.
Органические соединения	Очень высокая диэлектрическая прочность. Очень высокая стойкость к механическому истиранию. Очень высокая стойкость к растворителям. Высокая влагостойкость.	Может использоваться при температуре до 125°C Любая доработка затруднена. Необходимо учитывать коэффициент линейного расширения. Требуется проверка совместимости с паяльным резистом. Требуется проверка совместимости с химическим составом флюса.
Парилен	Очень высокая диэлектрическая прочность. Очень высокая конформность (повторение формы изделий). Высокая способность к проникновению полимера. Очень высокая влаго- и химстойкость.	Высокая стоимость сырьевых материалов. Наносится в вакуумной камере. Защитное изоляционное покрытие должно быть воздухонепроницаемым. Тонкая растекшаяся плёнка затрудняет визуальное наблюдение.

4.5.3 Потемнение защитного покрытия

Защитное покрытие может быть применено для непокрытой меди несмонтированной печатной платы для сохранения паяемости или внешнего вида на длительный период. Эти покрытия могут разрушаться при операциях пайки или могут требовать удаления перед операцией пайки. Необходимость покрытия **должна** быть указана в основном чертеже.

4.5.3.1 Органические паяльные защитные покрытия (OSP)

Покрытие OSP имеет ограниченное применение для защиты непокрытых медных контактных площадок при хранении или двойной операции пайки для поверхностно-монтируемых компонентов. Покрытие OSP используется в том случае, когда к контактным площадкам для поверхностного монтажа предъявляются требования плоскостности. Покрытие OSP должно соответствовать требованиям паяемости. Специальные требования к его толщине отсутствуют, но предъявляются требования стойкости к потемнению и сохранению паяемости после термического воздействия или выдержки в условиях воздействия окружающей среды. Если используется покрытие OSP, то должны быть определены критерии оценки паяемости плат и срок их хранения.

4.6 Маркировка и надписи

Если указано в основном чертеже, печатные платы и сборки на них (модули) должны быть промаркированы с использованием непроводящей краски, ярлыков, метода травления и других методов. Маркировка должна использоваться для обозначения номера изделия или заводского номера, литеры изменения, поляризации или ориентации, символов штрих-кодов, статуса изделия в отношении электростатического заряда (ESD).

Расположение маркировки должно быть таким, чтобы не допускать размещения информации под компонентами, в недоступных местах после сборки или на проводящих поверхностях. Маркировка не должна располагаться на защищенных поверхностях с плавящимися металлами или на темных покрытиях. Маркировка, выполненная методом травления, может воздействовать на электрические характеристики плат, например, на емкостное сопротивление. На практике такая информация, как номер изделия, номер слоя, литера изменения и символы ориентации должна быть предусмотрена на фотошаблоне и учитываться при сборке слоев печатных плат. Эту же информацию должны содержать купоны. Другая информация, такая как: заводской номер, сведения об изготовителе, дата изготовления должна быть размещена на соответствующем участке и выполнена с использованием стойкой, непроводящей, фунгицидной, высококонтрастной краски, ярлыков, лазерного скрайбирования или других способов, обеспечивающих достаточную стойкость маркировки к воздействию процессов сборки и очистки. Маркировочные знаки должны быть достаточного размера, четкими и размещаться с учетом доступности их наблюдения в процессе обработки, контроля, хранения, монтажа и при доработке плат или модулей (сборок). Обычно минимальная высота маркировочных знаков, равная 1.5 мм, и минимальная ширина линий, равная 0.3 мм, являются достаточными. Необходимо обеспечить достаточное расстояние до маркировочных знаков, а также следовать рекомендациям по ограничениям для размещения компонентов, указанным в 8.1. Избегайте использования маркировочных красок близко к местам пайки, т.к. смола, используемая в краске, может ухудшать паяемость.

Для жидких сеткографических маркировочных составов требуется расстояние до мест пайки, равное 0.4 – 0.5мм. Необходимо соблюдать предосторожность при использовании жидких сеткографических маркировочных красок. Их четкость определяется высотой неровностей поверхности.

ESD или Underwriters Laboratories могут включать специальные требования к маркировке, которые **должны** стать частью требований основного чертежа.

4.6.1 Маркировка с учетом требований ESD

Готовая сборка (модуль) на монтажной плате **должна** быть промаркирована в соответствии со сборочным чертежом для ее полной идентификации. Сборка на монтажной плате, которая содержит компоненты, чувствительные к электростатическому разряду, **должна** быть промаркирована в соответствии со стандартом EIA RS-471. Маркировка должна быть выполнена способом травления или с использованием постоянной краски или ярлыка, стойких к воздействию технологического процесса сборки, и должна сохраняться непосредственно до удаления сборки для профилактического обслуживания (ремонта). Дополнительная маркировка, при необходимости ее использования, **должна** быть указана в сборочном чертеже.

5.0 Механические/физические свойства

5.1 Обсуждение вопросов производства

В Табл.5-1 приведены рекомендации, относящиеся к конструкционным параметрам плат, и обсуждены результаты их выполнения.

Табл. 5-1 Рекомендации, относящиеся к конструкции печатных плат

Конструкционные предпосылки, связанные с производством	Преимущества (•), недостатки (⇓), воздействие на качество (⊗), другие комментарии (♦)
Соотношение отверстие/контактная площадка: Размер контактной площадки не менее, чем на 0.6мм больше, чем размер отверстия[1]	•Обеспечение достаточной площади контактной площадки для предотвращения её разрыва, т.е выхода переходного отверстия за край контактной площадки (недостаточная ширина кольцевой контактной площадки). ⇓Большие контактные площадки могут снизить минимальное расстояние между элементами проводящего рисунка.
Плавный переход от проводника к контактной площадке в виде "слезы".	•Обеспечение достаточной площади контактной площадки для предотвращения её разрыва. •Повышение надёжности путём предотвращения трещин на границе перехода контактной площадки в проводник при вибрации или термоциклировании. ⇓Может влиять на минимальное требуемое расстояние.
Толщина платы: Типично от 0.8мм до 2.4мм (над медью)	♦Более тонкие платы имеют тенденцию к короблению и требуют особого обращения при использовании технологии монтажа компонентов в сквозные металлизированные отверстия. Более толстые платы имеют более низкий выход годных из-за совмещения слоев. Некоторые компоненты могут не иметь выводов достаточной длины для более толстых плат.
Отношение толщины платы к диаметру сквозного металлизированного отверстия: отношение 5:1 является предпочтительным[1].	•Результатом более низкого значения соотношения является более равномерная металлизация отверстий, более легкая очистка отверстий и меньшее отклонение сверла при сверлении. •Отверстия большего диаметра менее склонны к трещинам в металлизированном пистоне.
Симметричность поперечного сечения платы: для достижения сбалансированности конструкции верхняя половина платы должна быть зеркальным отражением нижней половины	⊗Асимметричные платы стремятся к короблению ♦На симметричность платы влияют расположение поверхностей земли и питания, направление сигнальных цепей, направление волокон ткани. ⇓ Большие медные поверхности должны быть равномерно распределены по поверхности платы для минимизации коробления.
Размер платы	•Платы меньших размеров имеют меньшее коробление и лучшее совмещение слоёв. ⇓Для больших заготовок с маленькими размерами элементов должны быть рассмотрены припрессовка фольги или "плавающая" сборка слоёв. ♦Используемые заготовки определяют стоимость платы.
Расстояние между проводниками: 0.1мм	⊗Жидкие травители недостаточно эффективно циркулируют в очень узких зазорах, в результате чего не происходит полное удаление металла.
Ширина проводника: 0.1мм	⊗Элементы очень маленьких размеров более чувствительны к повреждениям и разрушению в процессе травления.

[1]Эти производственные предпосылки, хоть и ценные, не могут быть использованы для некоторых переходных отверстий. Т.е переходные отверстия, которые имеют маленький диаметр контактной площадки, не могут иметь диаметр контактной площадки на 0.6 мм больше, чем отверстие, т.к. это нарушает требование

к рекомендуемому коэффициенту соотношения толщины платы и диаметра отверстия. При рассмотрении геометрии требуемых маленьких контактных площадок проблема коэффициента соотношения становится первостепенной и для ее исключения должна быть обсуждена.

5.1.1 Изготовление несмонтированных плат

Из-за оборудования, используемого при изготовлении печатных плат, существуют некоторые ограничения, которые должны быть оценены для обеспечения максимальной изготовляемости плат и, таким образом, минимизации стоимости. Кроме того, ряд человеческих факторов мешает использовать крупноформатные заготовки в большинстве установок для изготовления печатных плат.

5.2 Конфигурация печатных плат/продукции

Физические параметры печатных плат должны быть совместимы с требованиями к механическим параметрам электронных схем. Допуски, указанные в Главах 3 и 5, должны быть оптимизированы для обеспечения лучшего соответствия формы, размеров, толщины печатных плат механическим элементам электронных устройств, используемым для монтажа.

5.2.1 Тип печатных плат

Выбор типа печатных плат (односторонние, двусторонние, многослойные, на металлическом основании) должен быть сделан перед началом проектирования и должен основываться на требованиях к характеристикам сборок, рассеянию тепла, механической жёсткости, электрическим характеристикам (экранированию, импедансу и т.д.) и ожидаемой плотности схемы (см.3.6.2).

5.2.2. Размеры плат

Размеры печатных плат должны быть унифицированы для облегчения использования контактных приспособлений для несмонтированных печатных плат и сборок, а также с целью минимизации количества требуемых приспособлений. Для примера, на Рис.5-1 показаны стандартизованные платы. Кроме того, печатная плата должна быть совместима со стандартными размерами заготовок для достижения наименьшей стоимости и максимального количества печатных плат на заготовке. Это также облегчает контроль несмонтированной печатной платы (см.IPC-D-322).

5.2.3 Геометрия плат (размеры и форма)

5.2.3.1 Размер материала

Наибольший размер изготавливаемых заготовок для печатных плат является функцией экономически выгодного использования листов ламината, имеющихся в продаже.

Рекомендуется использовать размер заготовок меньший, чем тот, при котором заготовки полностью заполняют лист ламината.

Наиболее распространенным размером заготовки является размер 460 x 610 мм. Стандартным вспомогательным размером заготовки должен быть размер части целого листа.

Для оптимизации размещения печатных плат на заготовке, влияющей на стоимость плат, конструктор должен знать размеры заготовок, используемых изготовителем. Максимальный размер заготовок оказывает наибольшее влияние на стоимость единицы поверхности готовой печатной платы. Однако использование больших заготовок может вызвать затруднения при получении тонких проводников и необходимой точности расположения элементов проводящего рисунка из-за увеличения влияния нестабильности основания материала.

5.2.4 Изгиб и скручивание

Проектирование печатных плат с соблюдением сбалансированного расположения схемы и размещения компонентов является важным фактором для минимизации степени изгиба и скручивания печатных плат.

Кроме того, поперечное сечение платы, включающее толщину основания, толщину диэлектрика, внутренние слои с большой поверхностью медных участков и толщину отдельных медных слоёв, должно выполняться, по возможности, симметричным относительно центра платы.

Если нет других указаний в основном чертеже, максимальное значение изгиба и скручивания **не должно** превышать 0.75% для плат с использованием технологии поверхностного монтажа компонентов и 1.5% для плат, используемых для всех других технологий монтажа. Используемые при сборке мультиплицированные заготовки печатных плат, которые затем разделяются, должны также соответствовать указанным требованиям.

Если симметричная конструкция и жесткие допуски недостаточны для соответствующей критичной сборки или получения требуемых характеристик, могут потребоваться жесткие или укрепляющие слои.

Оценка производится измерениями в соответствии с IPC-TM-650, Метод 2.4.22.

5.2.5 Структурная прочность

Большое многообразие доступных материалов и смол возлагает на конструктора серьёзную ответственность за их анализ в том случае, если их структурные свойства являются важными. Струк-

турные свойства ламинатов зависят от условий окружающей среды и изменяются в зависимости от состава и их структуры. Физические и электрические свойства изменяются в зависимости от температуры и амплитуды нагрузки. Предельные свойства материалов для печатных плат используются конструктором при проведении испытаний печатных плат в качестве структурного элемента. С целью обеспечения соответствующих требований к электрическим характеристикам, на которые влияют деформация и удлинение печатных плат, для установления структурных требований должны быть обсуждены более низкие значения прочности основного материала, чем приведенные в технической литературе.

5.2.6 Сложные платы (с укрепляющим основанием)

Если требования к структурным, термическим или электрическим свойствам диктуются использованием укрепляющего основания платы, то физические свойства должны быть оценены с использованием похожих образцов, которые предназначены для стандартных жестких печатных плат. Купоны для печатных плат с укрепляющим основанием **должны** включать материал основания.

Для обеспечения термических или конструкционных характеристик конфигурация печатных плат может быть симметричной или асимметричной. Некоторые преимущества асимметричной конструкции состоят в том, что электрические характеристики или функции отделены от механических характеристик или функций, связанных с рассеянием тепла (см. Рис.5-2).

Недостатком асимметричной конструкции является то, что из-за различных коэффициентов термического расширения печатной платы и материала основания готовая плата может искривиться в процессе пайки/оплавления или из-за изменений температуры в используемых системах. Некоторая компенсация может быть достигнута введением дополнительных медных участков с обратной стороны платы. Большая медная поверхность немного увеличивает коэффициент термического расширения, но имеется также положительный эффект, состоящий в увеличении теплопроводности.

Наиболее приемлемой может быть симметричная конструкция печатной платы с металлическим основанием (см. Рис.5-3А и 5-3В). На Рис.5-3А показаны два металлических укрепляющих основания внутри многослойной платы, в данном случае частично выполняющие электрические функции, функции цепей земли и питания. Конструкция с центральным основанием, приведенная на Рис.5-3В, имеет единственное основание, которое обычно выполняет функцию теплоотвода и функцию укрепления. Для достижения укрепления в необходимых пределах объединенная толщина основания медь-инвар-медь в многослойной плате должна составлять примерно 25% от толщины платы. Наиболее часто используется конструкция платы с двумя металлическими основаниями, на них может быть получено изображение, выполнено травление и они могут быть соединены с помощью сквозных металлизированных отверстий; наиболее толстое центральное основание должно быть выполнено механически. Более стойкой к воздействию термоциклов является плата с двумя металлическими основаниями.

Особая плата с использованием укрепляющего основания может быть сделана путем соединения каждой стороны многослойной печатной платы с тонким укрепляющим металлическим основанием после того, как плата будет изготовлена. Наиболее сложным вариантом может быть изготовленная плата, где укрепляющее металлическое основание помещено между двумя частично изготовленными многослойными печатными платами. Составная плата затем сверлится, металлизируется и травится для получения сквозных металлизированных отверстий, соединяющих две платы. Для испытаний целостности сложной структуры платы должны быть предусмотрены купоны.

Металлическое основание плат существенно увеличивает теплоёмкую массу при сборке. Это может вызвать необходимость предварительного нагрева и операция пайки будет выполняться при ненормально высоких пределах температуры. Эта конструкция перед выпуском должна быть основательно оценена в производственных условиях. Разрыв и обесцвечивание ламината, зернистость припоя являются типичными последствиями сборки.

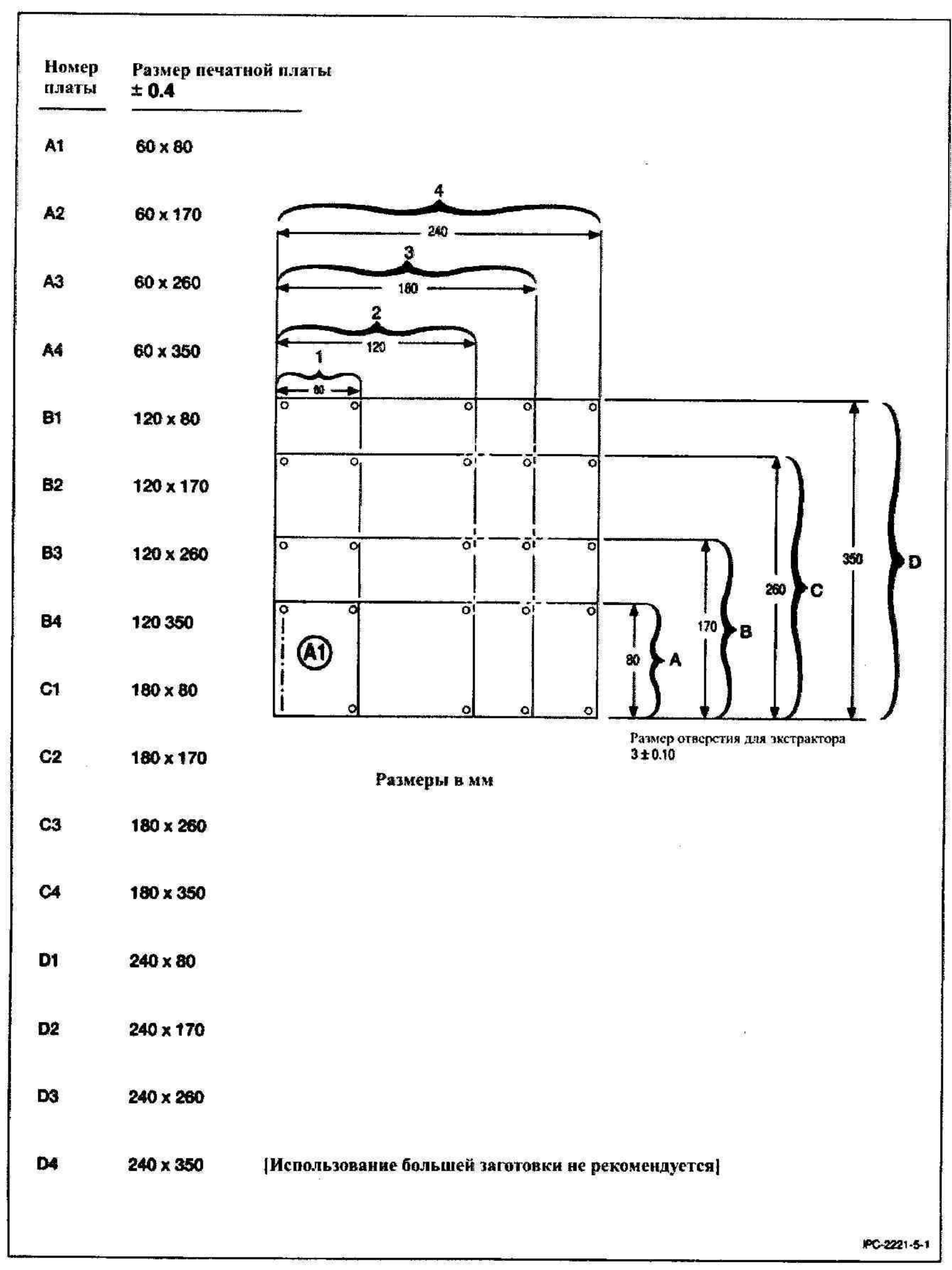


Рис.5-1 Пример стандартных размеров печатной платы, мм

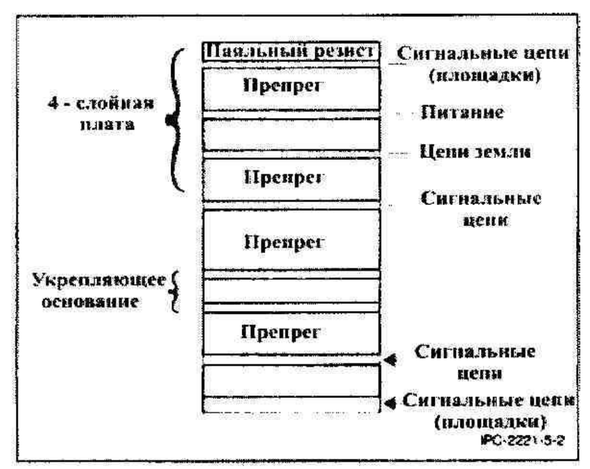


Рис.5-2 Типичная конструкция платы с симметричным расположением укрепляющего основания

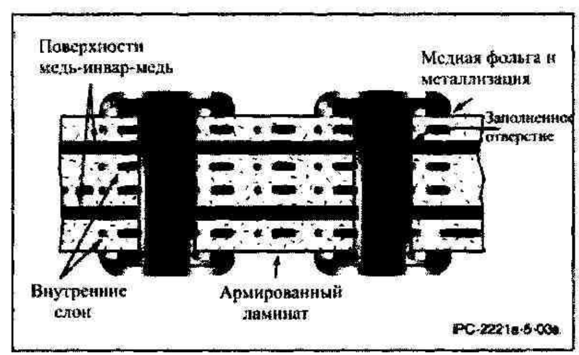


Рис.5-3А Многослойная плата с двумя симметрично расположенными укрепляющими основаниями (поверхность медь-инвар-медь соединена со сквозным металлизированным отверстием и рисунком теплоотвода, приведенным на рис.9-4)

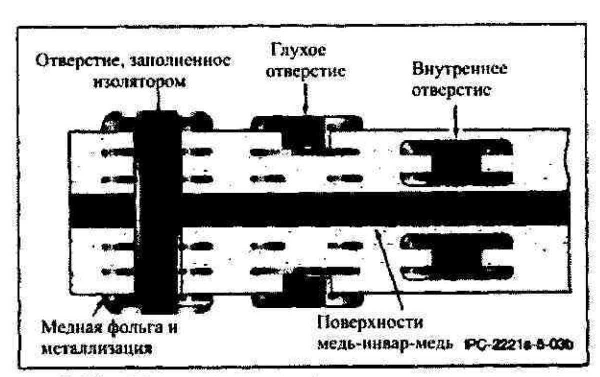


Рис.5-3В Плата с симметрично расположенным основанием медь-инвар-медь

5.2.7 Вибрация

При проектировании печатных плат, которые во время эксплуатации будут подвергаться воздействию вибрации, необходимо, чтобы перед разработкой плана проектирования было проведено специальное обсуждение печатных плат. В результате воздействия на смонтированную печатную плату вибрации может серьёзно снизиться её надежность. Взаимосвязь между компонентами, печатными платами и условиями эксплуатации делает необходимым проведение вибрационного анализа всей системы на ранних стадиях проектирования. Последствия воздействия вибрации на любую отдельную часть узла может сделать вибрационный анализ очень сложным.

Вибрационный анализ должен быть сделан для каждого элемента электронных устройств, которые содержат смонтированные печатные платы. Сложность анализа должна зависеть от уровня вибрации, которой будут подвергаться элементы электронных устройств при эксплуатации. Конструкция печатных плат будет зависеть от уровня вибрации, передаваемой на печатную плату. Особое внимание должно быть уделено печатным платам, подвергаемым случайной (беспорядочной) вибрации.

Для определения уровня вибрации, которой будут подвергаться платы, потребуется сложный вибрационный анализ с использованием следующих критериев:

- Случайная спектральная плотность равна или превышает $0.1G^2/Hz$ при частоте от 80 до 500 Гц или расстояние между точками (местами) крепления платы при вибрации превышает 76.2 мм.
- Уровень синусоидальной вибрации, равный или превышающий 3 Gs при частоте от 80 до 500 Гц.
- Проверка сохранения и повышения надёжности (RDGT) смонтированных печатных плат при спектральной плотности, равной или превышающей $0.07\ G^2/Hz$, в течение более 100 часов в сочетании с термоциклами.

Для исключения отказов смонтированных печатных плат, вызванных воздействием вибрации, следует руководствоваться следующими рекомендациями:

- Изгиб печатных плат, вызванный вибрацией, должен поддерживаться ниже 0.08 мм на мм длины или ширины платы для предупреждения поломки вывода в многовыводных устройствах.
- Если плата будет подвергаться воздействию вибрации, необходимо предусмотреть закрепление всех компонентов с весом более 5.0 г на вывод (см. 5.3.2).
- Для снижения изгиба печатной платы должны быть предусмотрены укрепляющие слои и/или металлическое основание.
- Для использования печатных плат в условиях повышенной вибрации должна быть

рассмотрена необходимость использования при монтаже демпфирующей прокладки.
- При монтаже деталей практически всегда следует использовать изоляторы вибрации.
- Использование для монтажа высоких компонентов без поддержки (отдельно стоящих) должно быть сведено к минимуму.
- Компоненты с неаксиальными выводами должны монтироваться боком.

Т.к. в систему входит много взаимосвязанных компонентов, нет уверенности в том, что использование приведенных выше рекомендаций обеспечит успешные вибрационные испытания узлов. Вибрационные испытания являются только средством для обеспечения надёжности узла при эксплуатации.

5.3 Требования к сборке

5.3.1 Присоединение механических средств, используемых для монтажа

Печатные платы **должны** быть спроектированы таким образом, чтобы механические средства для монтажа могли быть легко подсоединены перед монтажом основного компонента или после него. Для всех механических средств для монтажа, требующих электрической изоляции, должен быть обеспечен достаточный физический и электрический зазор. В основном, для обеспечения достаточного расстояния (зазора) до сборочного оборудования и паяльных форсунок монтируемые технические средства не должны выступать над поверхностью платы более, чем на 6.4 мм.

5.3.2 Крепление детали

Все детали весом 5 г или более н вывод должны быть укреплены соответствующим способом (см.8.1.9), который обеспечит надёжность мест паек и выводов, если нет уверенности в их механической прочности.

Надежность печатных плат, которые при работе будут подвергаться воздействию удара и вибрации, требует учёта следующих вопросов:
- Наихудших условий по уровню вибрации и удара для всей структуры, в которой находятся смонтированные печатные платы, и предельного уровня этих воздействий, который фактически передаётся компонентам на плате. (Особое внимание должно быть уделено аппаратуре, которая будет подвергаться беспорядочной вибрации).
- Метода монтажа плат в аппаратуре для снижения последствий воздействия удара и вибрации, особенно количества мест крепления плат, их интервала и сложности.
- Механической конструкции платы, особенно её размеров, формы, типа материала, толщины материала, степени сопротивления изгибу и гибкости, которые обеспечиваются конструкцией.
- Формы, массы и расположения смонтированных компонентов на плате.
- Вида формовки выводов компонентов для снижения механической нагрузки, зависящей от конструкции корпуса, расстояния между выводами, изгиба выводов или их комбинации, а также от дополнительных защитных устройств.
- Квалификации персонала при сборке, которая даёт уверенность, что выводы компонентов правильно отформованы, без трещин и что компоненты установлены таким образом, что тенденция к смещению компонентов минимизирована.
- Конформных покрытий, которые могут быть использованы для снижения воздействия удара и вибрации на смонтированные платы (см.4.5.2)

Если позволяет конструкция схемы, то при выборе компонентов, которые будут смонтированы на платах, подвергаемых сильным ударам и вибрации, должны преимущественно использоваться компоненты, обладающие малым весом, низким профилем, конструкция которых обеспечивает снижение внутренних деформаций.

Если должны быть использованы дискретные компоненты, преимущество должно быть отдано поверхностно-монтируемым и/или типам компонентов с аксиальными выводами, имеющими относительно низкий профиль и легко приводимыми в тесный контакт с поверхностью платы. На практике следует избегать применения компонентов, имеющих несимметричную (нестандартную) форму, большую массу и высокий центр тяжести. Если невозможно избежать их использования, то они должны быть расположены по внешнему периметру платы или так, чтобы технические монтажные средства или способы монтажа снижали возможность изгиба плат. В зависимости от сложности этой проблемы может потребоваться механическое соединение, соединения с помощью адгезива или запрессовка.

5.3.3 Сборка и испытание

Обсуждение, подобное приведенному выше для готовых печатных плат, должно быть проведено для смонтированных печатных плат (сборок) и используемого испытательного оборудования с целью увеличения выхода годной продукции и минимизации её стоимости. В Табл.5-2 приведе-

ны предельные размеры изделий, связанные с типичным используемым сборочным оборудованием.

Табл.5-2 Предельные размеры заготовок при использовании типового сборочного оборудования

Операции	Размеры заготовки
Размещение компонентов	450 x 450 мм
Пайка волной	400 мм x неограниченный размер
Внутрисхемный контроль*	400 x 400 мм
Оплавление	450 x 450 мм
Трафаретная печать	450 x 450 мм

*Максимальный размер определяется также количеством проверяемых точек.

5.4 Системы измерения

5.4.1 Размеры и допуски

Исторически при проектировании печатных плат для размеров и расположения используются двусторонние допуски. которые являются приемлемыми. Однако геометрическая система проставления размеров и допусков по IPC-2615 имеет много преимуществ перед системой двусторонних допусков:

a) По сравнению с системой двусторонних допусков (см. Рис.5-4) позволяет не менее, чем на 57% расширить поле допуска относительно истинного положения отверстия.
b) Обеспечивает максимальную изготовляемость при гарантировании механических функций печатных плат. Это даёт дополнительные допуски при использовании концепции максимальных/минимальных данных.
c) Гарантирует, что требования к конструкции, если они связаны со сборкой и функционированием, точно установлены и выполняются. Это особенно существенно, когда используются технологии автоматической сборки.
d) Гарантирует взаимозаменяемость сопрягаемых деталей.
e) Обеспечивает единообразие и удобство в интерпретации чертежа, уменьшая таким образом полемику и предположения.

В связи с этим использование геометрической системы размеров и допусков является целесообразным.

5.4.2 Расположение компонентов и деталей

Система координатной сетки описана в IPC-1902/IEC 60097. Для того, чтобы избежать индивидуального проставления размеров при расположении компонентов, сквозных металлизированных отверстий, проводящего рисунка и других элементов печатных плат используется координатная сетка. Если элементы печатных плат расположены вне шага координатной сетки, то они **должны** быть образмерены индивидуально с указанием допусков в основном чертеже.

Использование электронных устройств устраняет необходимость индивидуального проставления размеров элементов.

Система с использованием координатной сетки всегда является базовой и не имеет допусков, поэтому для всех элементов. расположенных на координатной сетке, допуски **должны** быть указаны в основном чертеже. Система с использованием координатной сетки должна определять местоположение не менее двух баз. Выбранный шаг координатной сетки или использование электронных устройств указывается в основном чертеже. Выбранный шаг координатной сетки или использование электронного устройства устанавливают расположение выводов компонента в монтажные сквозные отверстия или расположение центра компонента для поверхностного монтажа.
Обычно шаг координатной сетки кратен 0.5 мм для компонентов, монтируемых в сквозные отверстия, и 0.05 мм для поверхностно-монтируемых компонентов.

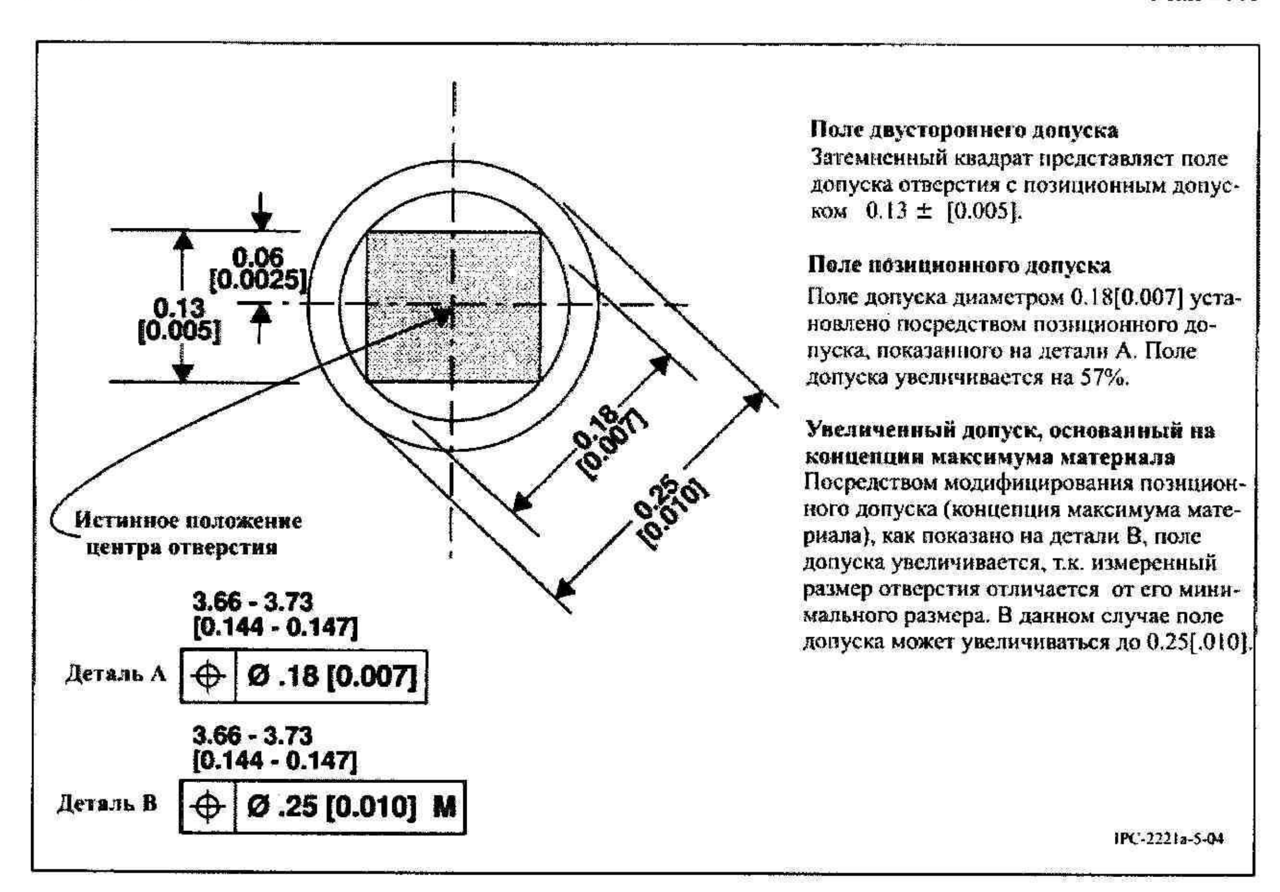


Рис. 5-4 Преимущества позиционных допусков по сравнению с двусторонними допусками

5.4.3 Базовые элементы

Базами являются теоретически точные точки, оси или поверхности. Эти элементы находятся внутри рабочей рамки трех взаимно перпендикулярных пересекающихся плоскостей, известных как ссылочная рамка базы. Базовые элементы выбираются для определения местоположения печатной платы относительно ссылочной рамки базы (см. Рис.5-4А).

В некоторых случаях достаточно одной ссылочной базы, однако в большинстве случаев ссылочными являются три базы. Обычно вторая сторона платы идентифицируется как основная база. Другие две базовые поверхности или оси обычно идентифицируются с использованием соседних неметаллизированных отверстий. В качестве альтернативы могут использоваться протравленные элементы или края печатной платы.

Выбор элементов, которые должны использоваться в качестве баз, зависит от того, какие элементы конструкции предназначены для контроля. Края платы могут использоваться в качестве баз, когда они выполняют главную функцию печатных плат. Базовые элементы **должны** быть указаны в основном чертеже с использованием символов по IPC-2615. Базовые элементы должны быть функциональными элементами печатной платы и должны устанавливать связь между такими элементами, как монтажные отверстия. Все базовые элементы должны быть расположены внутри контура печатной платы. Второй базовый элемент обычно используется при измерениях в качестве нулевой координаты. Желательно, чтобы он был расположен в пределах печатной платы.

Примечание: Если платы имеют очень плотную схему или они очень маленькие, то может не быть места для расположения на плате механически обработанных элементов. В этом случае нулевые координаты (ноль-ноль) удалены с платы, а расположение второй базы указано для визуальной координации. Часто эту функцию выполняет маркировочная краска.

При использовании электронных данных все отверстия, проводники и элементы являются приемлемыми для обеспечения изготовления и контроля. Однако для любых элементов, не имеющих в базе данных размеров в цифровом виде, необходимо устанавливать размеры без использования электронного формата. Некоторые их характеристики приведены ниже:

А) Схема расположения (рисунка) сквозных металлизированных отверстий

Получение рисунка сквозных металлизированных отверстий (см. Рис. 5-5А) является основной операцией при первом сверлении.

Проставление размеров может выполняться с помощью базового размера с допустимым отклонением расположения каждого отверстия относительно базовой координатной сетки.

Допуск на расположение отверстия указывается или в перечне отверстий или, что лучше, определяется примечанием в основном чертеже.

В) Схема расположения рисунка неметаллизированных отверстий

Неметаллизированные отверстия, главным образом, установочные и монтажные отверстия (см. Рис. 5-5В) обычно сверлятся во время основной операции сверления. Для них должны быть указаны подробные размеры и допуски, даже если они расположены на координатной сетке и в том случае, когда они критичны для функциональных или установочных элементов монтажных плат.

Два из них могут быть идентифицированы как базовые элементы для вторичной и третичной баз.

Установочные отверстия являются элементами печатной платы или заготовки печатной платы. Они являются элементами в форме отверстий, которые могут также использоваться изготовителем плат для получения оптимальных условий допустимого отклонения между штырями на установочном приспособлении и отверстиями или пазами на плате. Изготовление установочных отверстий обычно определяется производителем плат, хотя они могут использоваться и монтажниками в качестве установочных элементов, как часть сборочной заготовки.

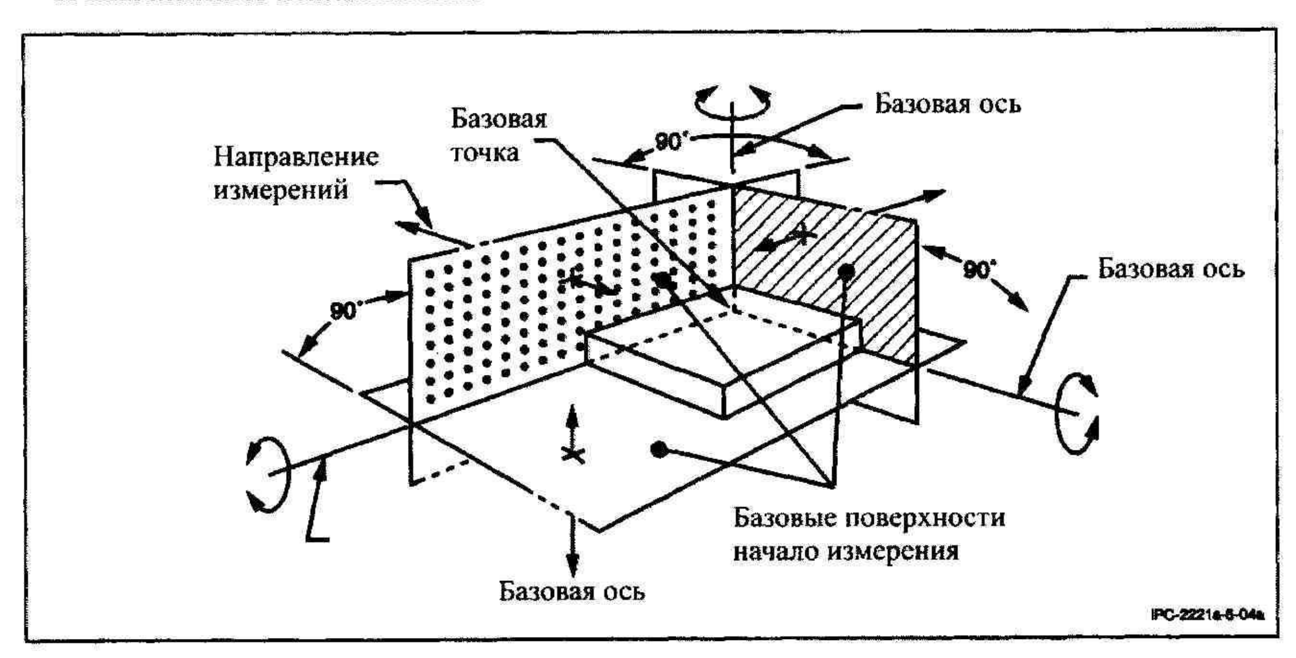


Рис. 5-4А Ссылочная рамка базы

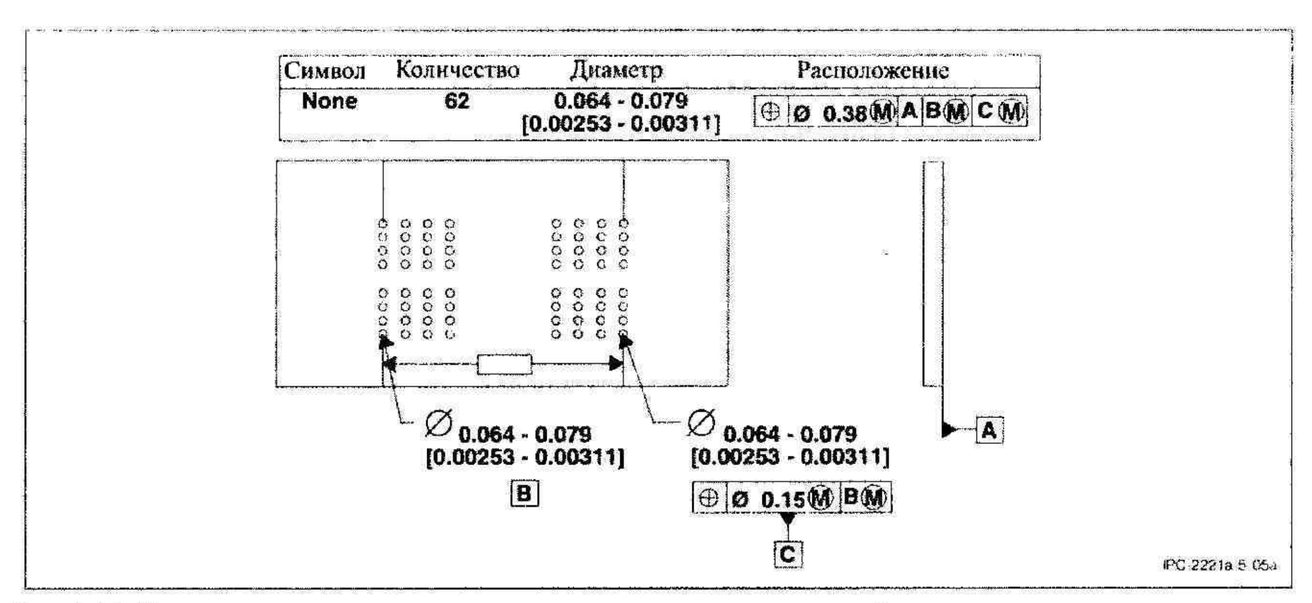


Рис. 5-5A Пример расположения сквозных металлизированных отверстий

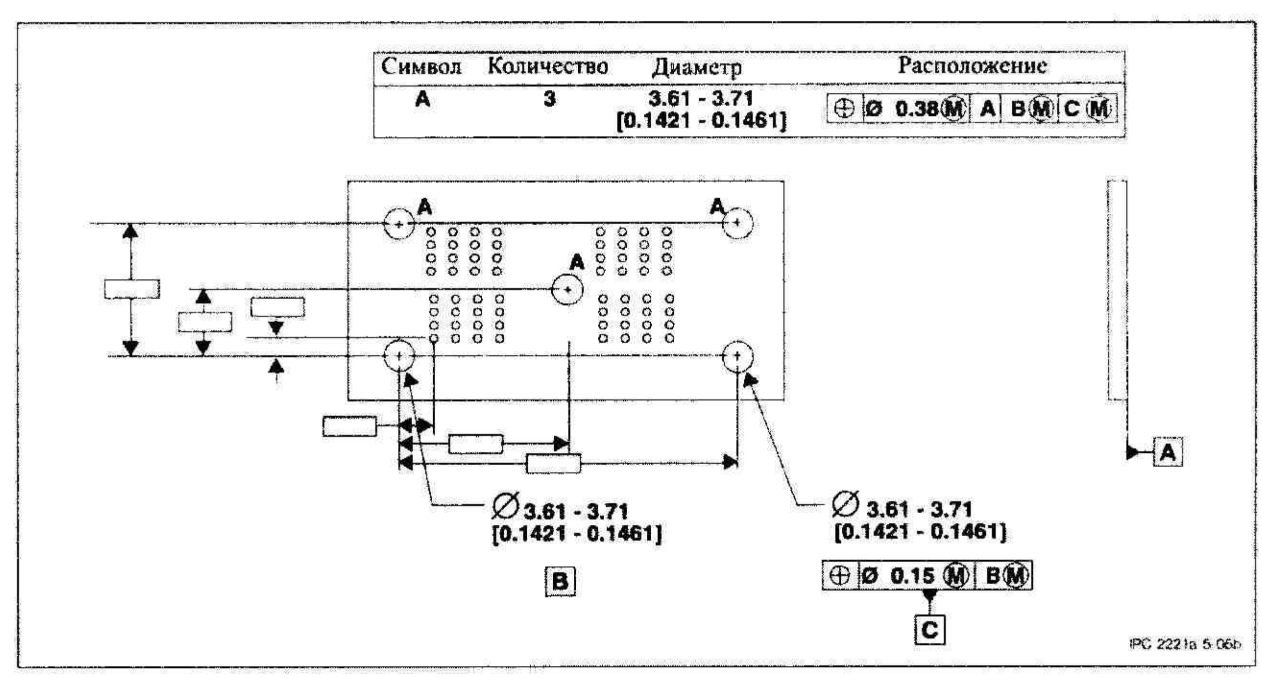


Рис. 5-5B Пример схемы расположения установочных/монтажных отверстий

C) *Проводящий рисунок*

Проводящий рисунок не требует отдельной базы, обеспечивающей заданную минимальную ширину кольцевой контактной площадки. Минимальная ширина контактной площадки является простым способом выражения допуска на расположение проводящего рисунка при соблюдении требований к расположению сквозных металлизированных отверстий. Для некоторых конструкций, особенно для которых используется автоматическая сборка устройств с малым шагом выводов, может потребоваться дополнительная точность. В этом случае необходимо установление допуска на расположение элементов, который **должен** быть приведен в основном чертеже. Дополнительно могут потребоваться ограничения допуска на расположение элементов. Они должны иметь допуск с учетом требований к установочным отверстиям для сборки (см. Рис. 5-5C).

Принятые требования к размеру, форме и качеству могут зависеть от типа используемого в процессе сборки оборудования, шага выводов и правильности расчета. На Рис.5-6 приведены рекомендации "Ассоциации производителей оборудования для поверхностного монтажа". Другим способом установления требований к

расположению проводящего рисунка и допустимому отклонению является способ проставления размеров от центральной линии проводника. Критичными участками являются концевые контакты плат; размеры для них должны быть приведены в соответствии с Рис.5-8. Допуски, используемые для края платы и ключевого паза, должны быть такими, чтобы не было внутренних повреждений и разрушения контактов. Проставление размеров до края проводника не рекомендуется. На Рис.5-5Е показано, как данные Рис. с 5-5А по 5-5Д могут быть включены в один чертёж.

D) *Профиль печатных плат*
Изготовление профиля печатных плат, включающее обрезку контура и получение прорезей (см. Рис.5-5Д и 5-7), требует как минимум одной базы. Применение трех баз и максимально улучшенных параметров материала, как показано на Рис. 5-5Д максимизирует допуски и позволяет использовать жесткий измерительный инструмент, который особенно подходит в условиях выпуска продукции в больших объемах.

E) *Покрытие паяльным резистом*
Расположение рисунка паяльного резиста может быть задано посредством указания минимального расстояния до контактной площадки. Требование к минимальному расстоянию служит той же цели, что и требование к минимальной кольцевой площадке, при этом допуски на расположение рисунка паяльного резиста не нарушают требований к проводящему рисунку.

5.4.3.1 Базовые элементы для изготовления мультиплицированных заготовок (palletization)

Размещение нескольких плат на одной заготовке является стандартным процессом, используемым при сборке и испытаниях. Так же, как и для индивидуальной платы, для указанных заготовок требуется базовая система. Важным является связь базовой системы индивидуальной платы с базовой системой заготовки (см. Рис.5-7).

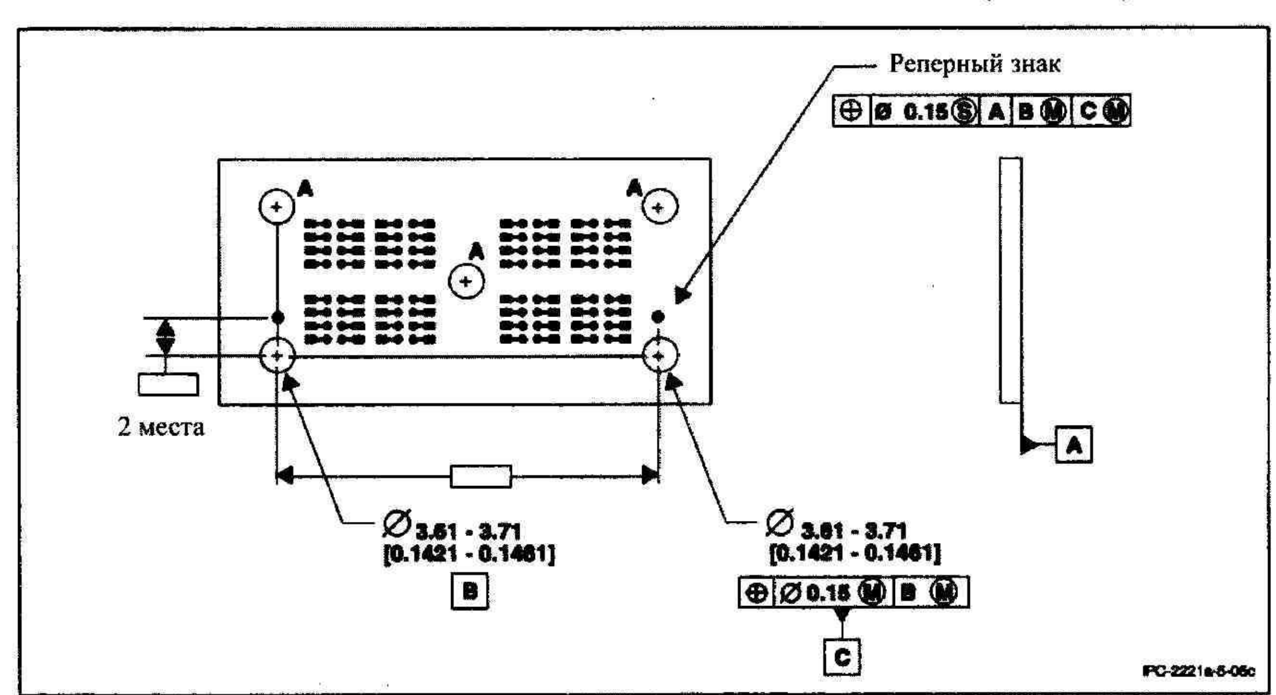


Рис.5-5 С Пример расположения проводящего рисунка с использованием реперных знаков

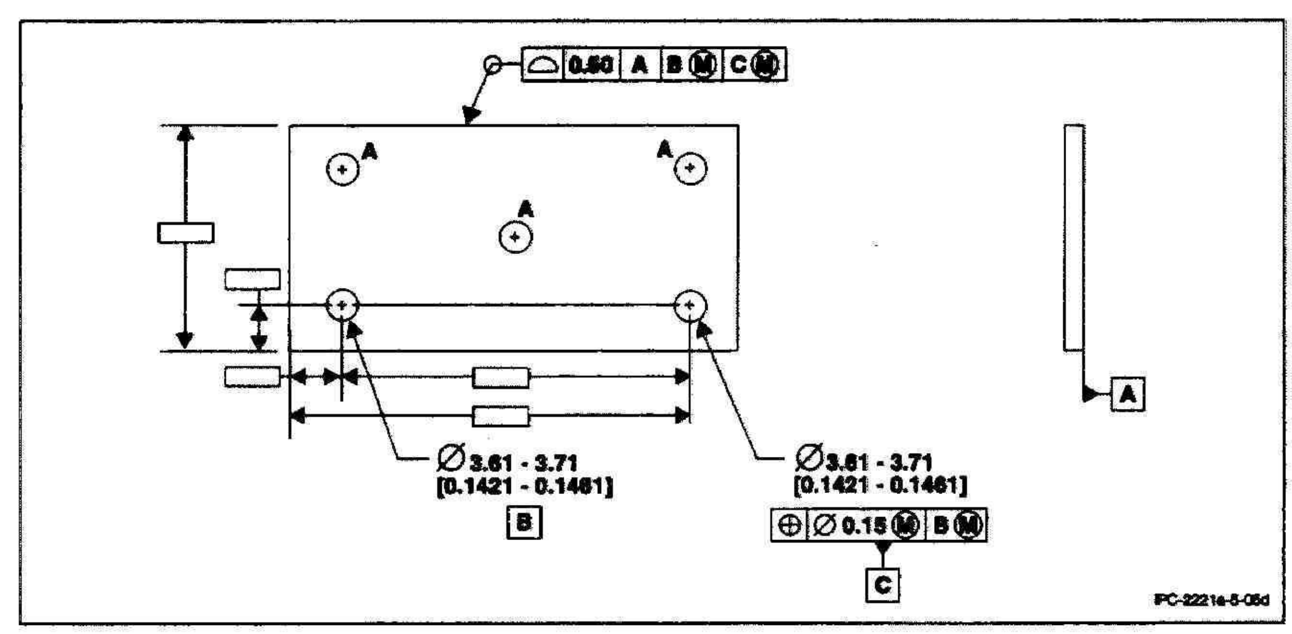
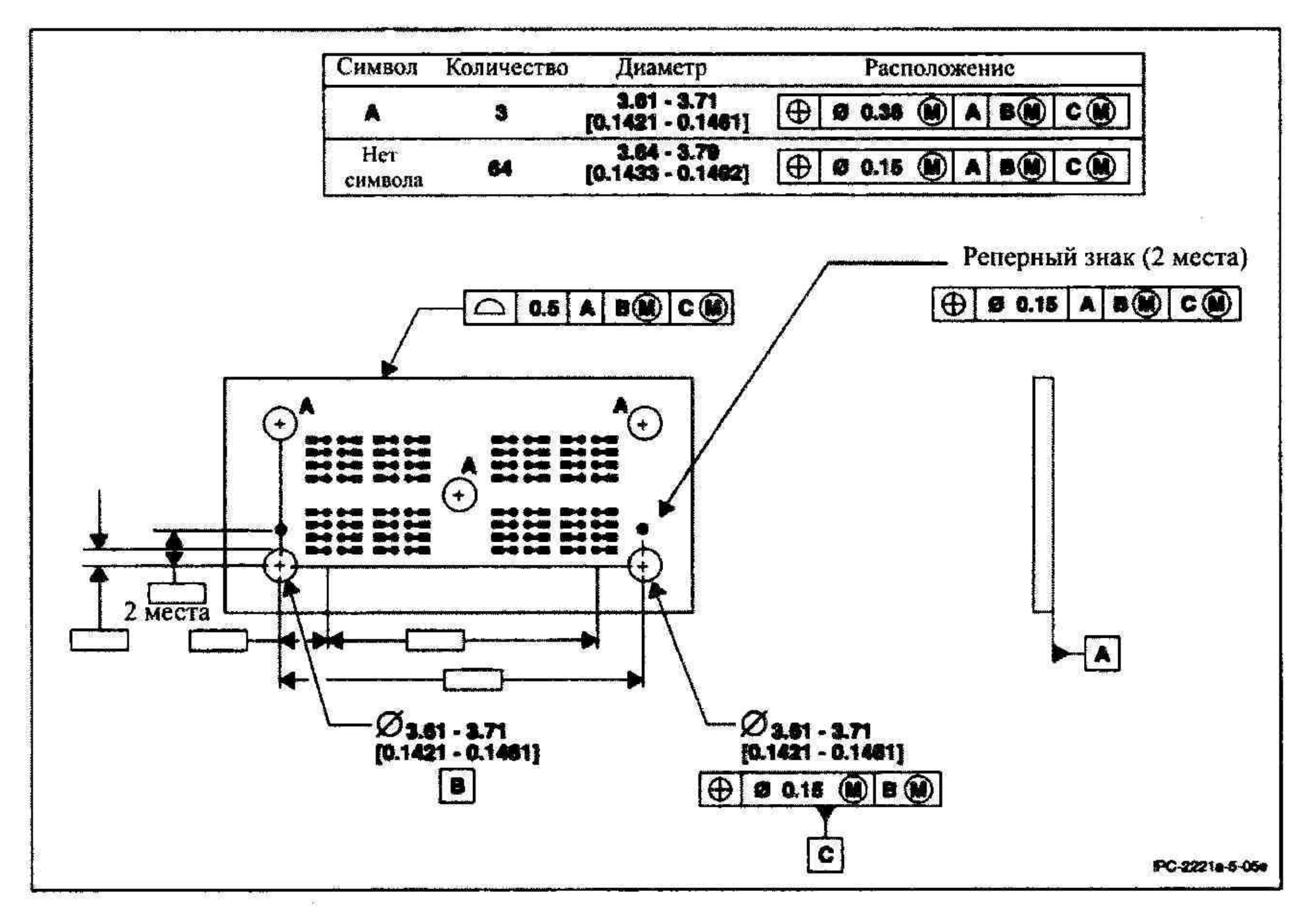


Рис.5-5 D Пример расположения и допуска профиля печатной платы.



Символ	Количество	Диаметр	Расположение
A	3	3.61 - 3.71 [0.1421 - 0.1461]	⊕ Ø 0.38 M A B M C M
Нет символа	64	3.64 - 3.79 [0.1433 - 0.1492]	⊕ Ø 0.15 M A B M C M

Рис.5-5 E Пример простановки на чертеже печатной платы размеров и допуска, мм.

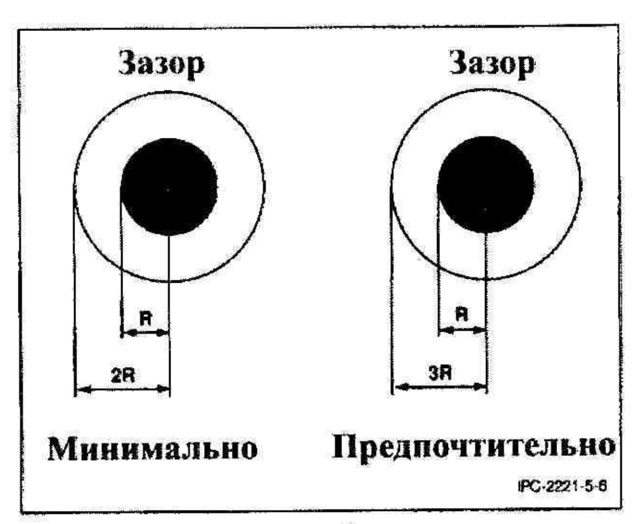


Рис.5-6 Сравнительные требования к зазору.

Установочные отверстия заготовки (3 места)

Установочные отверстия отдельной платы (4 места на плате)

X.XXX

X.XXX

X.XXX

X.XX

База

X.XXX

База

X.XXX

X.XX

X.XX

X.XX

8 плат на заготовке

Рис.5-7 Пример оформления, мм

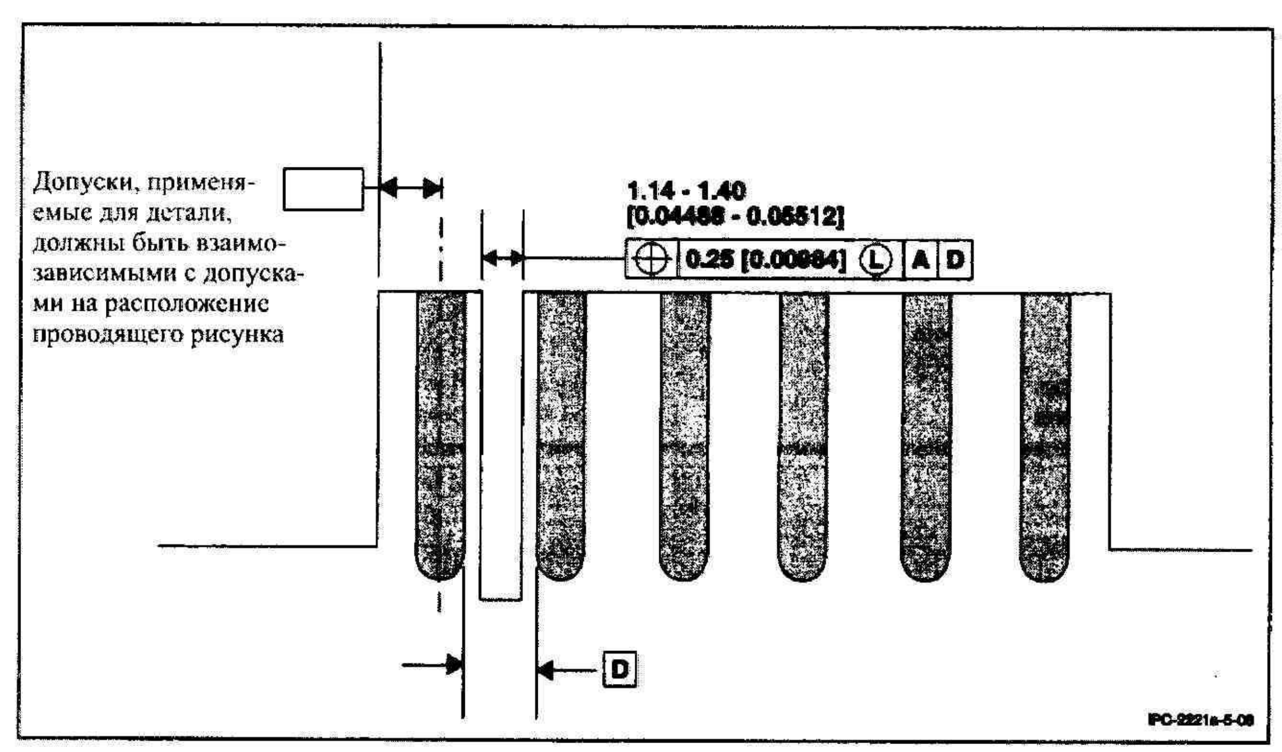


Рис.5-8 Пример расположения и допуска ключевого паза разъема, мм

6.0 Электрические характеристики

6.1 Рассмотрение вопросов, связанных с электрическими характеристиками

6.1.1 Требования к наличию защитных покрытий

Если сборки на печатных платах **должны** иметь конформное защитное покрытие, то они **должны** быть сконструированы с соответствующим маскированием или защищены любым другим способом таким образом, чтобы применяемое конформное защитное покрытие не ухудшало электрических параметров сборки. Конструкции быстродействующих схем должны учитывать рекомендации IPC-D-317.

6.1.2 Рассмотрение вопросов распределения электропитания.

Наиболее важным фактором, который должен быть учтен в конструкции печатной платы, является распределение электропитания. Схема заземления может быть использована как часть системы распределения. Она обеспечивает не только электропитание по постоянному току, но также является базовой опорной поверхностью для быстродействующих сигналов переменного тока. Ниже обсуждаются некоторые вопросы, которые должны быть приняты во внимание:

Поддерживайте низкий ВЧ импеданс во всей разводке электропитания постоянного тока. Результатом неправильно спроектированного заземления может быть ВЧ излучение. Это происходит из-за градиентов поля излучения, образованного неравномерным импедансом платы, и из-за неспособности развязывающих конденсаторов эффективно уменьшать внутренние радиопомехи печатных плат.

Для развязки распределения электропитания в соединителе печатной платы используйте соответствующий развязывающий конденсатор.

Размещайте соответствующие отдельные развязывающие конденсаторы питания /земли равномерно на всем протяжении участков платы с логическими компонентами. Минимизируйте импеданс и контур излучения развязывающего конденсатора за счет наименьшей длины выводов конденсаторов и их размещения рядом с критической схемой.

Хорошим способом распределения питания и заземления в многослойных печатных платах является использование больших проводящих поверхностей. Если для распределения питания и для заземления применяются плоские проводящие поверхности, то рекомендуется входящие сигналы питания и "земли" заканчивать на входе развязывающей цепи, до соединения с соответствующими внутренними поверхностями. Если требуются наружные шины электропитания, то можно применить доступные схемы шин, как описано в разделе 8.2.13. При использовании проводников для электропитания, как показано на рис. 6-1, трассы питания должны проходить как можно ближе к трассам заземления. Как трассы питания, так и заземления **должны** выполняться макси-

мально широкими. Плоские поверхности питания и заземления фактически становятся одной плоскостью на высоких частотах, следовательно, **должны** располагаться рядом друг с другом.

На рис.6-1А показана плохая разводка, создающая высокую индуктивность и несколько соседних путей отраженного сигнала; это приводит к перекрестным помехам.

На рис.6-1В показана приемлемая схема разводки питания, которая снижает перекрестные помехи на проводнике и излучение платы.

Наилучшая разводка показана на рис.6-1С, которая дополнительно сокращает проблемы внутренних радиопомех.

В цифровых схемах распределения электропитания разводку "земли" и питания следует выполнять первой, а не последней, как это обычно делается для некоторых аналоговых схем. Все подключения, включая питание, должны быть подведены к одному заданному краю или участку платы. Межсоединений на противоположном конце следует избегать. Если это неизбежно, следует выполнить трассировку цепей питания и земли вдали от активных схем (см. рис. 6-2).

Все краевые соединения и все структуры заземления следует сделать по возможности массивными.

Между компонентами должны использоваться проводники минимально возможной длины. Печатная плата должна быть разделена на участки с высоко-, средне- и низкочастотными схемами (см. рис. 6-3).

6.1.3 Рассмотрение типов схем

При проектировании сборок на печатных платах должны учитываться следующие указания:

Правильно установите полярность применяемого компонента.

Эмиттер, база и коллектор транзистора должны быть правильно обозначены (заземленный корпус транзистора, если применяется).

Соблюдайте длину выводов по возможности минимальной и определите проблемы емкостной связи между определенными компонентами.

Если используются различные цепи земли, обеспечьте между заземляющими шинами или поверхностями как можно большее расстояние.

В противоположность цифровым сигналам сигнальные проводники аналоговых схем должны рассматриваться первыми, а поверхности земли или соединения земляного проводника последними.

Соблюдайте максимально возможное расстояние между теплочувствительными и теплоизлучающими компонентами (где необходимо, используйте теплоотводы).

6.1.3.1 Цифровые схемы. Цифровые схемы выполнены из электронных компонентов, которые могут обеспечить состояние 1 или 0, как функцию работы всей схемы. Обычно логические интегральные схемы используются для выполнения этой функции; однако дискретные компоненты могут иногда использоваться для обеспечения дискретного срабатывания.

В качестве компонентов применяются логические схемы ряда серий. Каждая серия имеет свои собственные параметры относительно скорости цифровой передачи, а также параметров повышения температуры, что необходимо для обеспечения функционирования. В основном, на одной плате применяются логические схемы одной серии для того, чтобы облегчить однократное задание правил конструирования для длины проводников, задающих ограничение сигнала. Некоторыми наиболее распространенными сериями логических схем являются:

ТТЛ – транзисторно-транзисторные логические схемы

МОП – логические схемы на МОП структуре (металл-оксид-полупроводник)

КМОП – логические схемы на КМОП-структуре

ЭС – логические схемы с эмиттерными связями

Ga As – логические схемы на арсениде галлия

В некоторых случаях применения быстродействующих схем могут использоваться специфические правила трассировки проводников. Типичным примером является последовательная трассировка между источником сигнала, нагрузками и выходами. Номинальные значения ответвлений (линий) могут также иметь определенные показатели.

Цифровые сигналы можно грубо разделить на четыре класса критичности. Этими классами являются:

1. *Некритические сигналы* – нечувствительные к связи между ними. Например, между линиями шины данных или между линиями адресной шины, где они стробированы.
2. *Полукритические сигналы* – те, где взаимодействия должны поддерживаться на достаточно низком уровне, чтобы избежать ложного запуска, такие как линии сброса и линии строб-импульса.
3. *Критические сигналы* – имеющие форму сигналы, которые должны быть монотонными при пороговых напряжениях приемного устройства. Они обычно являются синхронизирующими сигналами, и любой сбой, пока изменяется форма сигнала, может вызвать двойную синхронизацию схемы. Некритический сигнал имеет форму сигнала, который не ну-

ждается в монотонности и может даже многократно трансформироваться между порогами напряжения до того, как он зафиксирован. Очевидно, что он должен быть зафиксирован до начала действия приемного устройства от данных, например, входные данные на мультивибратор могут быть некритическими, а синхронизирующий сигнал является с большой вероятностью критическим сигналом. Асинхронные сигналы, хотя они могут (или не могут) быть некритическими сигналами, не должны смешиваться с критическими сигналами, поскольку имеется реальная возможность индуцирования асинхронными сигналами шумов на критических сигналах в процессе передачи синхронизирующих или тактовых импульсов. Синхросигналы, которые не имеют общей задающей частоты, не должны трассироваться рядом по аналогичным причинам.

4. *Сверхкритические сигналы* - те, которые применяются как синхронизирующие или стробирующие для АЦП и ЦАП, сигналы фазовой автоматической подстройки частоты и т.д. В этих случаях применения случайные кратковременные искажения фазовой автоматической подстройки частоты и перекрестные помехи вызывают ошибки, шум и дрожание синхронизирующих импульсов и будут сказываться на выходных характеристиках. Вопрос только в важности (количестве) нарушений в пределах требуемых техническими условиями характеристик. Этот класс сигналов в основном схож с ситуацией аналогового взаимодействия. Другими словами, они полностью линейны (общий шум есть сумма шумов отдельных элементов; усреднение или аннулирование не допускается).

6.1.3.2. Аналоговые схемы. Аналоговые схемы обычно выполняются с применением интегральных схем и дискретных компонентов. Стандартные дискретные компоненты (резисторы, конденсаторы, диоды, транзисторы и т.д.), так же, как и силовые трансформаторы, реле, катушки индуктивности и дроссели являются типами дискретных компонентов, используемых в аналоговых схемах.

6.2. Требования к проводящему материалу.

Минимальные ширина и толщина проводников на готовой плате **должны** определяться, прежде всего, на основе требуемой токонесущей способности и максимально допустимого повышения температуры проводника. Минимальная ширина и толщина проводников для наружных и внутренних слоев печатной платы **должны** соответствовать рис.6-4.

$I = K\,\Delta T^{0.44} A^{0.725}$,

где I= ток в амперах, А – поперечное сечение в кв. милах, ΔТ- увеличение температуры в ^{0}С и К является константой, такой как:

К = 0.048 для внешних слоев

К = 0.024 для внутренних слоев.

Допустимое повышение температуры проводников определяется как разность между максимально безопасной рабочей температурой материала ламината печатной платы и максимальной температурой окружающей среды, воздействию которой будет подвергаться печатная плата. Для конвекционно-охлаждаемых сборок на печатных платах тепловым условием окружающей среды является максимальная окружающая температура, при которой печатная плата будет применяться. Для охлаждаемых за счет теплопроводности сборок на печатных платах в условиях конвекции также должно учитываться повышение температуры за счет рассеиваемой мощности ковекционно-охлаждаемых компонентов и повышение температуры через печатную плату и/или по теплоотводу к холодной пластине. Для охлаждаемых за счет теплопроводности сборок на печатных платах в условиях вакуума тепловым условием является повышение температуры, вызываемое рассеиваемой мощностью компонентов, и повышение температуры через печатную плату и/или по теплоотводу к холодной пластине. В условиях вакуума следует также учитывать эффекты передачи тепла излучением между компонентами, сборкой на печатной плате и холодной пластиной. Для внутренних слоев толщина проводника равна толщине медной фольги ламината, если не используются глухие и внутренние переходные межслойные отверстия, когда в толщину меди включается гальваническая медь, осажденная в процессе металлизации переходных отверстий. Для наружных слоев толщина проводников также включает толщину гальванической меди, осажденной в процессе металлизации сквозных отверстий, но она не должна включать толщину покрытия припоем, гальванического покрытия оловосвинец или вспомогательных гальванопокрытий.

Следует заметить, что необходимая толщина фольги, заданная требованиями чертежа для предпочтительных материалов печатной платы, имеет номинальные значения, которые обычно могут изменяться в пределах ±10%. Для наружных слоев суммарная толщина меди будет также изменяться при обработке, которая может уменьшить толщину основной меди до нанесения гальванопокрытия.

Кроме того, поскольку толщина гальванической меди задана требованием к необходимой толщине меди на стенке сквозного металлизированного

отверстия, осажденное на наружных слоях количество меди может не иметь такой же толщины, как на стенках сквозных металлизированных отверстий (см.10.1.1). Следовательно, если толщина проводника является критичной, то минимальная толщина проводника готовой платы должна быть указана в основном чертеже.

Для облегчения изготовления и надежности в эксплуатации эти параметры должны быть оптимизированы с соблюдением требований к минимальным рекомендованным зазорам между проводниками. Для сохранения ширины готового проводника, как указано в основном чертеже, ширина проводников на рабочем фотошаблоне может потребовать компенсации производственных допусков, как определено в разделе 10.

Во время публикации новой версии A IPC-2221 графики токовой пропускной способности проводников были в процесса разработки. Для обсуждения и понимания существующих графиков, как и для облегчения понимания новых см. Приложение B.

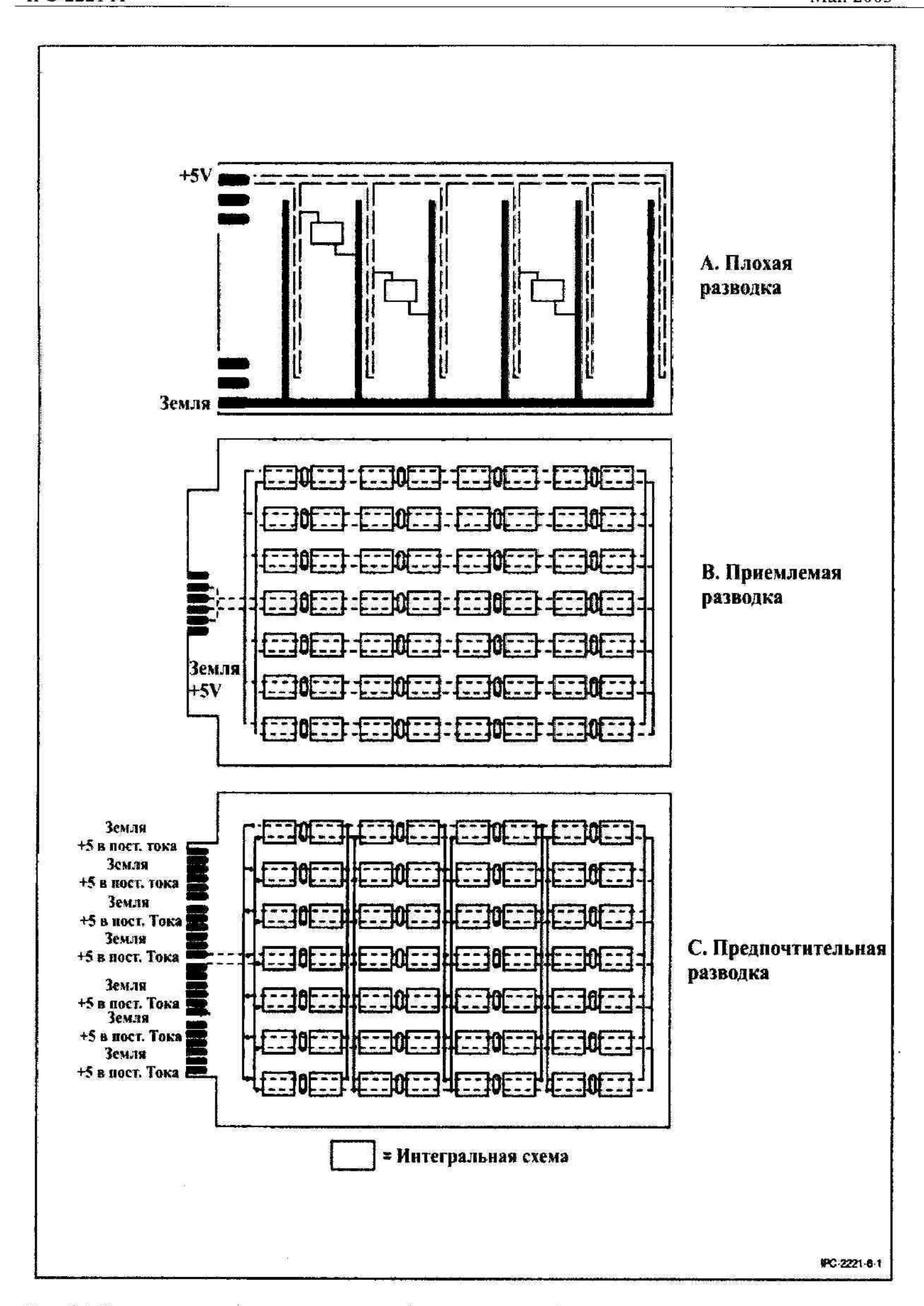


Рис. 6-1 Концепция распределения питания/земли

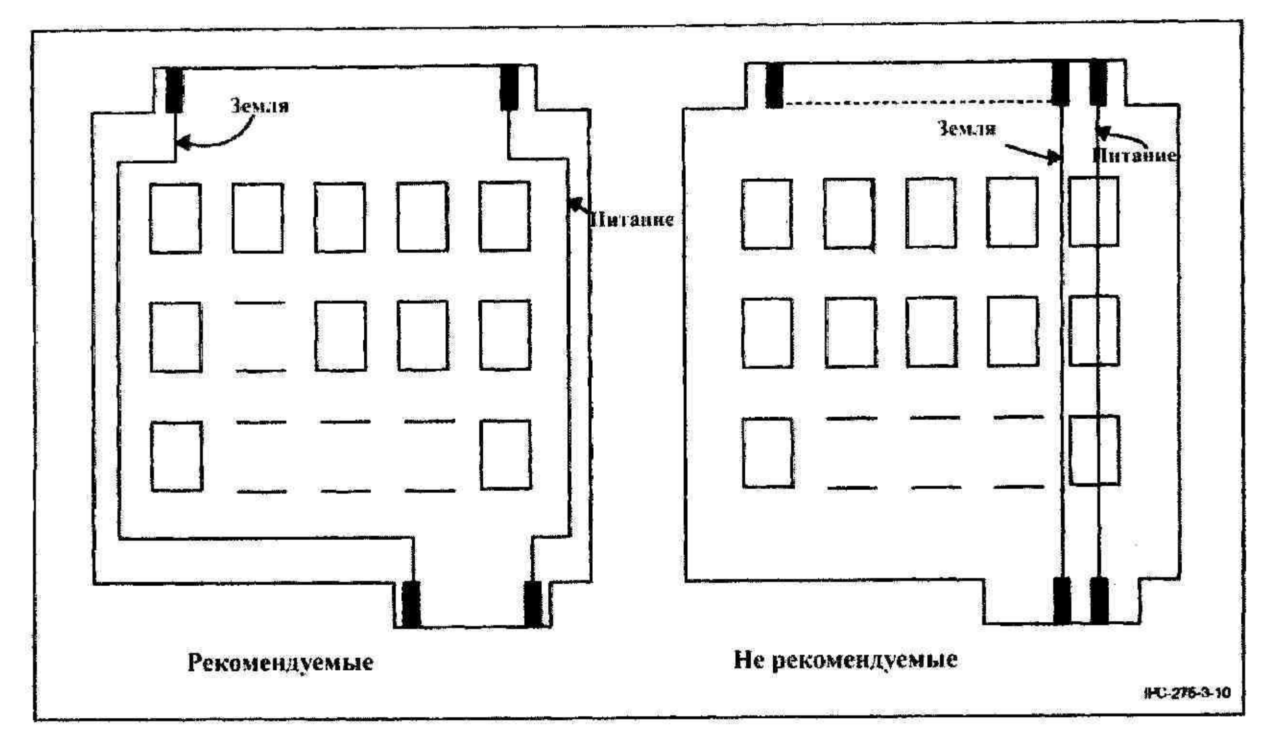


Рис. 6-2 Обособленная разводка по краю платы

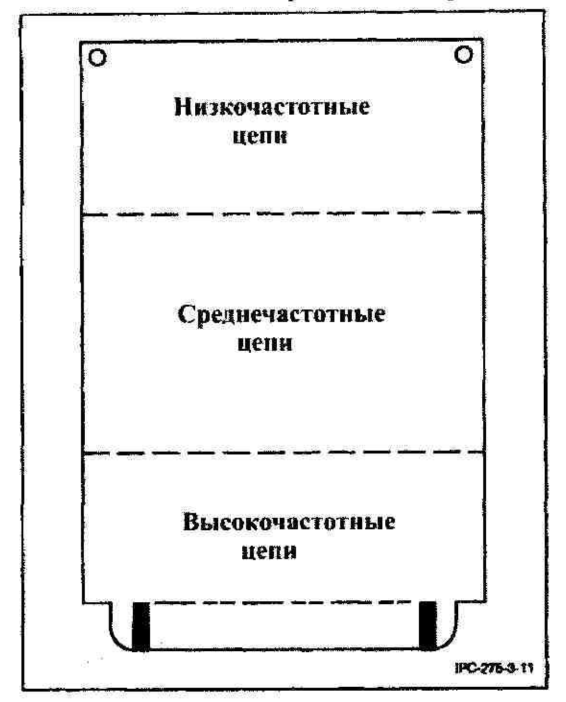


Рис. 6-3 Распределение цепей схемы по частоте

6.3 Электрический зазор.

Расстояние между проводниками на отдельных слоях должно быть максимально возможным. Минимальное расстояние между проводниками, между элементами проводящего рисунка, проводящими слоями (от слоя к слою по оси Z) и между проводящими материалами (такими, как проводящая маркировка или монтажный крепеж) и проводниками **должно** соответствовать таблице 6-1 и должно быть указано в основном чертеже. Дополнительную информацию по производственным допускам, влияющим на электрический зазор, см. Раздел 10.

Если на одной и той же плате используются различные напряжения и требуются отдельные электрические испытания, соответствующие участки платы **должны** быть обозначены в основном чертеже или в технических условиях на испытания. Если применяются высокие напряжения, особенно переменного тока, и импульсные напряжения с потенциалом более 200 вольт, диэлектрическая постоянная и эффект емкостного разделения материала должны учитываться вместе с рекомендуемым зазором.

Для напряжений выше 500В к табличным значениям зазора при 500В на каждый вольт должна быть добавлена величина, указанная в таблице. Например, электрический зазор для платы типа B1 с напряжением 600В вычисляется как:

600в – 500в = 100в

0,25мм + (100в x 0,0025мм) = 0,50мм зазор

При ожидаемой критичности конструкции рассматривается возможность применения других зазоров между проводниками, зазор между проводниками на отдельных слоях **должен** максимально увеличен по сравнению с минимальным зазором, приведенным в табл. 6-1. Топология платы должна быть спроектирована так, чтобы обеспечить максимальный зазор между проводящими участками внешнего слоя, связанный с высоким импедансом или высоковольтными цепя-

ми. Это минимизирует проблемы электрических утечек, возникающих от сконденсированной влаги или высокой влажности. Не следует надеяться, что защитные покрытия сохранят высокое поверхностное сопротивление между проводниками.

6.3.1 B1 – Проводники внутренних слоев.

Требования к электрическому зазору между проводниками внутренних слоев и между проводником и металлизированным отверстием для любой высоты над уровнем моря приведены в табл. 6-1.

6.3.2 B2 – Наружные проводники (внешних слоев), непокрытые, высота над уровнем моря до 3050 м.

Требования к электрическому зазору для непокрытых наружных проводников существенно выше, чем для проводников, которые будут защищены от внешних загрязнений конформным покрытием. Если собранное готовое изделие не предусматривает нанесения конформного покрытия, то зазор между проводниками на несмонтированной плате **должен** быть задан в соответствии с этой категорией плат при применении изделия на высоте от уровня моря до 3050м, (см. табл.6-1).

6.3.3. B3 – Наружные проводники, непокрытые, высота над уровнем моря более 3050 м.

Наружные проводники на непокрытой несмонтированной плате, применяемой на высоте над уровнем моря более 3050м, требуют даже больших электрических зазоров, чем электрические зазоры, указанные для плат категории B2 (см. табл. 6-1).

Таблица 6-1 Электрический зазор между проводниками

Напряжение между проводниками (Пост. ток и амплитуды перем. тока)	Минимальный зазор						
	Несмонтированная плата				Сборка (модуль)		
	B1	B2	B3	B4	A5	A6	A7
0-15	0,05мм	0,1мм	0,1мм	0,05мм	0,13мм	0,13мм	0,13мм
16-30	0,05мм	0,1мм	0,1мм	0,05мм	0,13мм	0,25мм	0,13мм
31-50	0,1мм	0,6мм	0,6мм	0,13мм	0,13мм	0,4мм	0,13мм
51-100	0,1мм	0,6мм	1,5мм	0,13мм	0,13мм	0,5мм	0,13мм
101-150	0,2мм	0,6мм	3,2мм	0,4мм	0,4мм	0,8мм	0,4мм
151-170	0,2мм	1,25мм	3,2мм	0,4мм	0,4мм	0,8мм	0,4мм
171-250	0,2мм	1,25мм	6,4мм	0,4мм	0,4мм	0,8мм	0,4мм
251-300	0,2мм	1,25мм	12,5мм	0,4мм	0,4мм	0,8мм	0,8мм
301-500	0,25мм	2,5мм	12,5мм	0,8мм	0,8мм	1,5мм	0,8мм
>500 См. параграф 6.3 для расчета	0,0025 мм/в	0,005 мм/в	0,025 мм/в	0,00305 мм/в	0,00305 мм/в	0,00305 мм/в	0,00305 мм/в

B1 – Проводники внутренних слоев

B2 – Наружные проводники, непокрытые, высота на уровнем моря до 3050м

B3 – Наружные проводники, непокрытые, высота на уровнем моря более 3050м

B4 – Наружные проводники, с постоянным полимерным покрытием (любая высота над уровнем моря)

A5 – Наружные проводники с конформным защитным покрытием сборки (любая высота над уровнем моря)

A6 – Наружные выводы/контакты компонентов, непокрытые

A7 – Наружные выводы/контакты компонентов с конформным покрытием (любая высота над уровнем моря)

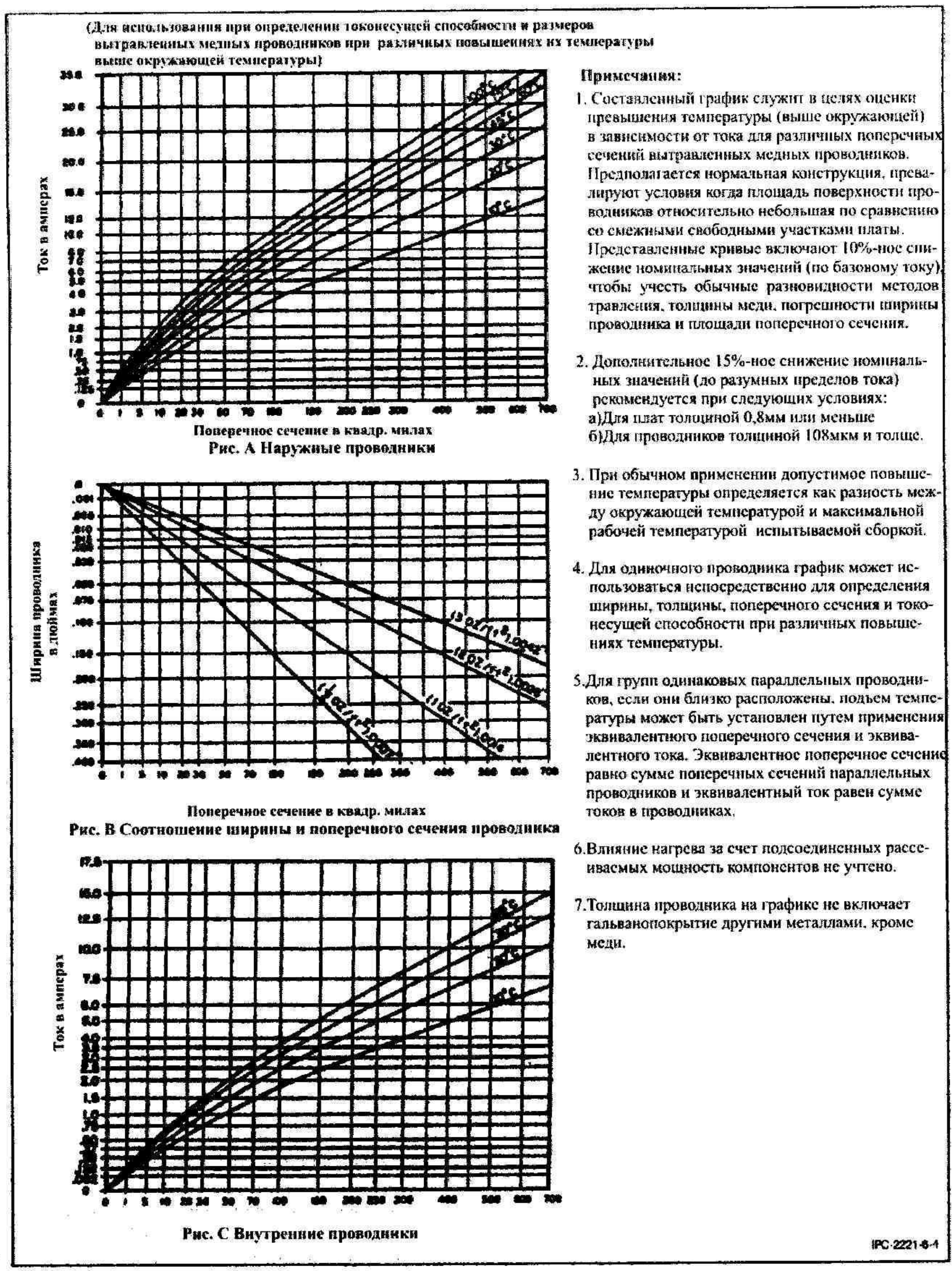


Рис. 6-4 Толщина и ширина проводников для внутренних и наружных слоев

6.3.4. B4 – Наружные проводники с постоянным полимерным покрытием (любая высота над уровнем моря).

Если окончательно собранная плата не предусматривает конформного покрытия, постоянное полимерное покрытие на проводниках несмонтированной платы допускает зазоры между проводниками меньшие, чем зазоры на непокрытых платах, установленные категориями B2 и B3. Электрические зазоры между контактными площадками и выводами сборок (модулей), которые не требуют конформного покрытия, должны соответствовать требованиям, установленным для категории A6 (см. табл.6-1). Эта конструкция непригодна для любого применения, требующего защиты от жестких, влажных, загрязняющих условий окружающей среды.

Типичными условиями применения являются компьютеры, офисное оборудование и коммуникационное оборудование, несмонтированные платы, работающие в контролируемых условиях, при которых они имеют постоянное полимерное покрытие на обеих сторонах. После того, как платы смонтированы и запаяны, они не покрываются конформным покрытием, паяные соединения и облуженные контактные площадки остаются непокрытыми.

Примечание: Для обеспечения требования к электрическому зазору для этой категории плат с покрытыми проводниками все проводники, за исключением облуженных контактных площадок, должны быть полностью защищены постоянным полимерным покрытием.

6.3.5 A5 – Наружные проводники с конформным покрытием всей сборки (любая высота над уровнем моря).

Наружные проводники, для которых предусмотрено конформное покрытие в окончательно собранной конструкции, предназначенной для применения на любой высоте над уровнем моря, требуют электрических зазоров, установленных для этой категории плат.

Типичными областями применения являются военные изделия, в которых вся готовая сборка (модуль) должна иметь конформное покрытие. Постоянные полимерные покрытия обычно не используются, за исключением возможного использования паяльного резиста (маски). Однако если используется сочетание полимерного покрытия и конформного покрытия, то следует учитывать их совместимость.

6.3.6 A6 – Наружные контакты/выводы компонента, непокрытые. Высота над уровнем моря до 3050 м

Выводы и контакты наружного компонента, которые не имеют конформного покрытия, требуют электрических зазоров, установленных для этой категории.

Типичными применениями являются прежде установленные применения для плат категории B4. Сочетание категорий B4/B6 наиболее широко применяется в промышленности в нежестких условиях применения для получения возможности повышения плотности трассировки проводников, защищенных постоянным полимерным покрытием (также паяльной маской), или там, где не требуется доступ к компонентам для доработки и ремонта.

6.3.7. A7 - Наружные выводы/контакты компонента с конформным покрытием (любая высота над уровнем моря).

В противоположность непокрытым проводникам, при наличии покрытых проводников на несмонтированной плате электрический зазор, используемый для покрытых выводов и контактов компонента, имеет меньшие величины, чем для непокрытых выводов и контактов.

6.4. Управление импедансом.

Многослойные печатные платы идеально приспособлены для обеспечения монтажных межсоединений, которые специально сконструированы для обеспечения желаемых уровней импеданса и контролируемой емкости. Техника, именуемая как “полосковая линия” или “впресованная микрополосковая линия”, является особенно приспособленной к требованиям импеданса и емкости. На рис. 6-5 показаны четыре основных типа конструкций передающей линии. Ими являются:

Микрополосковая линия: прямоугольная трасса или проводник, размещенный на границе между двумя разнородными диэлектриками (обычно воздухом и обычно FR-4), чей обратный путь основного тока (обычно медная поверхность) находится на противоположной стороне материала с высокой ε_r. Три стороны проводника контактируют с материалом с низкой ε_r ($\varepsilon_r = 1$), а одна сторона проводника контактирует с материалом с высокой ε_r ($\varepsilon_r > 1$).

Впрессованная микрополосковая линия: аналогична микрополосковой линии, за исключением того, что проводник полностью впрессован в материал с высокой ε_r.

Симметричная полосковая линия: прямоугольная трасса или проводник полностью окруженный однородной диэлектрической средой и размещенный симметрично между двумя опорными плоскостями.

Сдвоенная (асимметричная) полосковая линия: аналогична полосковой линии, за исключением того, что один или более слоев проводников

асимметрично размещены между двумя опорными плоскостями.

Конструкция таких многослойных печатных плат должна быть выполнена с учетом указаний IPC-D-317 и IPC-2141.

6.4.1. Микрополосковая линия.

Плоские проводники имеют конфигурацию, обычно получаемую на печатной плате с использованием процессов гальванического осаждения меди и травления (см.рис.6-5А). Емкость наиболее сильно подвержена влиянию в зоне между сигнальной линией и прилегающими плоскостями "земли" (или питания). Индуктивность является функцией контура, образованного воздействием рабочей частоты (т.е. скин -ффект), и зависит от расстояния до опорной плоскости микрополосковых и полосковых линий и длины проводника.

Следующие формулы представляют импеданс (Zo), задержку прохождения сигнала (Tpd) и емкость (Co) для схемы микрополосковой линии.

$$Z_o = \frac{87}{\sqrt{\mathcal{E}r + 1.41}} \ln\left[\frac{5.98h}{0.8w + t}\right] \quad \text{в омах}$$

$$T_{pd} = \frac{\sqrt{\mathcal{E}r}}{c} \quad \text{в пикосек/дюйм}$$

$$C_o = \frac{Tpd}{Zo} \quad \text{в пФ/дюйм}$$

Для $\frac{w}{h} < 1$

где:

c = скорость света в вакууме ($3{,}0 \times 10^8$ м/с)

h = толщина диэлектрика, дюймы

w = ширина линии, дюймы

t = толщина линии, дюймы

ε_r = относительная диэлектрическая проницаемость (диэлектрическая постоянная) подложки (см. таблицу 6-2).

Излучаемый линией сигнал внутренней помехи [EMI] будет функцией импеданса линии, длины сигнальной линии и ошибки характеристик формы сигнала. Это может быть важным при рассмотрении некоторых быстродействующих схем. Кроме того, перекрестные помехи между соседними цепями будут зависеть напрямую от расстояния между цепями, расстояния до опорных поверхностей, длины параллельности между проводниками и времени нарастания сигнала (см. IPC-D-317).

6.4.2 Впрессованная микрополосковая линия.

Впрессованная микрополосковая линия имеет геометрию аналогичную геометрии непокрытой микрополосковой линии, рассмотренной выше. Однако ее эффективная диэлектрическая постоянная отличается, поскольку проводник полностью помещен в диэлектрический материал (см. рис. 6-5В). Расчетные формулы для впрессованной микрополосковой линии те же, что в разделе, содержащем описание (непокрытой) микрополосковой линии, с измененной эффективной диэлектрической постоянной. Если толщина диэлектрика поверх проводника составляет 0,025 мм или больше, то эффективная диэлектрическая постоянная может быть определена с применением критериев, указанных в IPC-D-317. Для очень тонких диэлектрических покрытий (меньше 0,025 мм) значение эффективной диэлектрической постоянной должно быть между значением этого параметра для воздуха и большим значением диэлектрической постоянной (см. табл.6-2).

6.4.3 Параметры полосковой линии.

Полосковая линия представляет тонкий, узкий проводник, впрессованный между двумя заземляющими плоскостями (рис. 6-5с). Поскольку все линии электрического и магнитного поля заключены между плоскостями, структура полосковой линии имеет преимущество в подавлении внутренних радиопомех, за исключением линий, расположенных близко к краям печатной платы. Перекрестные помехи между цепями будут также уменьшены (по сравнению с микрополосковой линией) из-за тесной электрической связи каждой цепи с "землей". Поскольку заземляющие поверхности присутствуют с обеих сторон полосковой линии, емкость линии увеличивается, а импеданс уменьшается по сравнению с микрополосковой линией.

Ниже представлены расчетные формулы импеданса полосковой линии (Zo) и емкости полосковой линии (Co) для плоского проводника. Формула предполагает, что слой схемы расположен посредине между плоскостями.

$$Z_o = \frac{60 \ln\left[\frac{1.9(2H+T)}{(0.8W+T)}\right]}{\sqrt{\mathcal{E}r}} \quad \text{в омах}$$

$$C_o = \frac{1.41(\mathcal{E}r)}{\ln\left[\frac{3{,}81H}{(0{,}8W+T)}\right]} \quad \text{в пф/дюйм}$$

Для $\frac{w}{h} < 2$

где:

H = Расстояние между линией и одной заземляющей плоскостью
T = Толщина линии, дюймы
W = Ширина линии, дюймы
ε_r = относительная диэлектрическая проницаемость подложки
pF = пикофарады

6.4.4 Параметры асимметричной полосковой линии.

Если слой схемы расположен между двумя заземляющими (или питающими) плоскостями, но не по центру между ними, формулы для полосковой линии должны быть уточнены. Это необходимо для учета увеличенной связи между цепью и близлежащей опорной поверхностью, поскольку это более существенно, чем ослабленная связь с более удаленной поверхностью. Если цепь расположена приблизительно в средней трети области между металлическими поверхностями, ошибка, обусловленная допущением, что цепь расположена по центру, будет совсем небольшой.

Одним из примеров асимметричного пакета является структура сдвоенной полосковой линии. Сдвоенная полосковая линия передачи сильно аппроксимируется с полосковой линией, за исключением того, что в первой имеется две сигнальных поверхности между двумя металлическими поверхностями питания. Цепи одного слоя обычно ортогональны цепям другого слоя для сохранения параллельности и сведения к минимуму перекрестных помех между слоями. Параметрами сдвоенной полосковой линии являются импеданс (Zo) и емкость линии передачи (Co):

$$Z_o = \frac{80\ln\left[\frac{1.9(2H+T)}{(0.8W+T)}\right]\bullet\left[1-\frac{H}{4(H+C+T)}\right]}{\sqrt{\varepsilon r}}$$ в омах

$$C_o = \frac{2{,}82(\varepsilon r)}{\left[\frac{2H-T}{(0.268W+0.335T)}\right]}$$ в пф/дюйм

где:
H = Высота над поверхностью питания
C = Интервал между сигнальными поверхностями
T = Толщина линии, дюймы
W = Ширина линии, дюймы
pF = Пикофарады

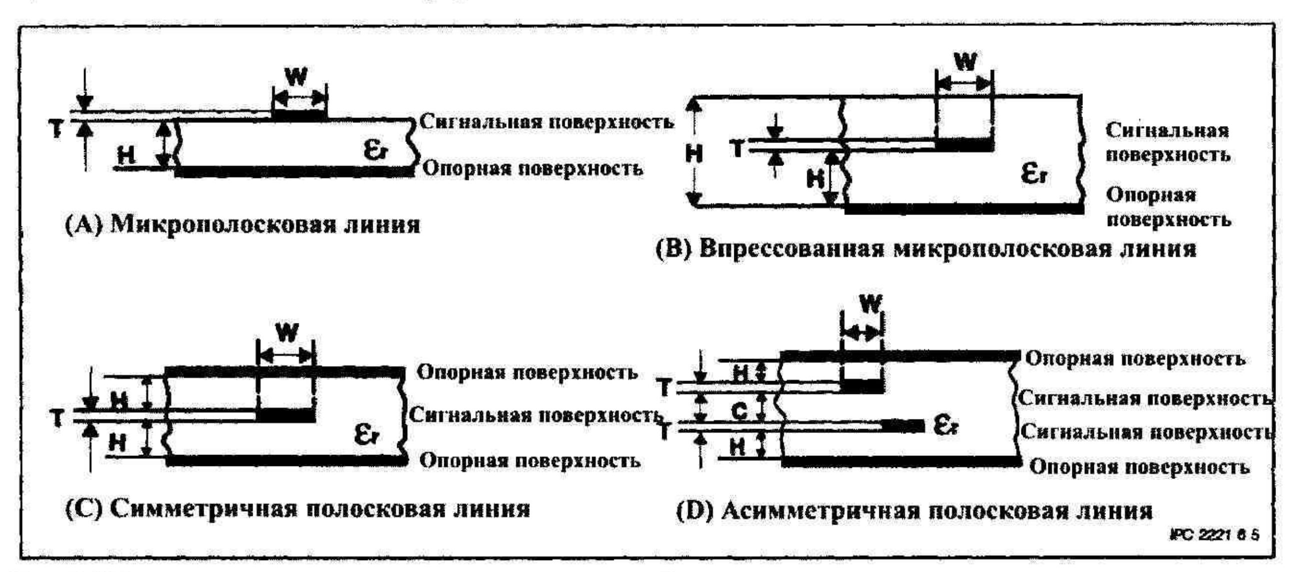


Рис. 6-5 Конструкция линии передачи сигнала печатной платы

Таблица 6-2 Типичные значения относительной диэлектрической постоянной материалов печатных плат.

Код					Код смолы	Армирующий материал/ смола	Диэлектрическая постоянная
NEMA[1]	Технические условия IPC			Военные стандарты[2]			
	4202	4101	4103	S-13949			E_r значение[3]
G-10		/20		/3	GEN	Стеклоткань Е/эпоксид	4.6-5.4
G-11		/22		/2	GB	Стеклоткань Е/эпоксид	4.5-5.4
FR-4[4]		/24		/4	GF GFN GFK	Стеклоткань Е/эпоксид	4.2-4.9
FR-5		/23		/5	GH	Стеклоткань Е/эпоксид	4.2-4.9
GPY		/42		/10	GI GIJ	Стеклоткань Е/полиимд	4.0-4.7
		/50		/15	AF	Арамидная ткань/модифицированный эпоксид	3.8-4.5
		/55		/22	BF	Нетканый арамид/эпоксид	3.8-4.5
		/53		/31	BI	Нетканый арамид/полиимид	3.6-4.4
		/60		/19	QIL	Кварцевая ткань/полиимид	3.0-3.8
		/30		/24	GM GFT	Стеклокань Е/триазин/ВТ	4.0-4.7
		/71		/29	GC	Стеклоткань Е/цианатный эфир	4.0-4.7
			4103/03	/6	GP	Нетканое стекло/PTFE	2.15-2.35
			4103/04	/7	GR	Нетканое стекло/PTFE	2.15-2.35
			4103/01	/8	GT	Стеклоткань/ PTFE	2.45-2.65
			4103/02	/9	GX	Стеклоткань/ PTFE	2.4-2.6
			4103/05	/14	GY	Стеклоткань/ PTFE	2.15-2.35
	/1[5]					Неармированный полимид	3.2-3.6

Примечание: Диэлектрические свойства будут меняться приблизительно в пределах приведенного диапазона значений в зависимости от соотношения армирующий материал/смола. Обычно тонкие ламинаты имеют тенденцию к более низким значениям.

[1] Национальная электрическая ассоциация изготовителей. Некоторые классы продукции, например, продукция XPC, FR-1, FR-2, CEM и другие, основанная на структуре бумага/бумага, не включена в данную таблицу. Для такой информации о свойствах этой продукции см. IPC-4101.

[2] MIL S-3949 аннулирован и приведен только как справочный.

[3] Максимальное значение диэлектрической постоянной составляет1 МГц (ламинат или препрег)

[4] Обозначения для классификации FR-4 имеются в многочисленных кратких перечнях (листах), приведенных в IPC-4101.

[5] Гибкая полиимидная пленка приведена для сравнения с армированными материалами; дополнительные характеристики гибких пленок с защитным покрытием и фольгированных могут быть найдены в IPC-4203 и 4204 соответственно. Сведения по их применению приведены в IPC-2223.

BT – бисмалеинтриазид

PTFE – политетрафторэтилен.

Эта структура показана на рис.6-5D. Как и для полосковой линии внутренние радиопомехи (EMI) будут полностью экранированы за исключением сигнальных линий, расположенных близко к краям печатной платы.

Вышеприведенные формулы могут быть приспособлены для определения Zo или Co для асимметричной полосковой линии, которая не является сдвоенной полосковой линией. Последовательность плоских поверхностей для четырехслойной платы должна быть такой, как показано на рис.6-5D. Для плат с более, чем четырьмя слоями, последовательность должна быть скомпонована таким образом, чтобы сигнальные слои были симметричными плоскости земли или питания. Это может быть достигнуто несколькими путями при условии, что любые соседние сигнальные слои, не разделенные плоскостями земли или питания, должны иметь свои основные оси, проходящие перпендикулярно друг другу. Для 6-ти слойной платы последовательность слоев может быть:

A	B
Сигнальный слой # 1	Сигнальный слой # 1
Плоская поверхность # 1	Сигнальный слой # 2
Сигнальный слой # 2	Плоская поверхность # 1
Сигнальный слой # 3	Плоская поверхность # 2
Плоская поверхность # 2	Сигнальный слой # 3
Сигнальный слой # 4	Сигнальный слой # 4

Структура “A” желательная конструкция, поскольку импеданс хорошо согласуется по всей структуре. Структура “B” является менее желательной конструкцией, поскольку сигнальные слои 1 и 4 будут иметь более высокий импеданс, чем сигнальные слои 2 и 3.

Особое внимание требуется при проектировании схем со специальными характеристиками там, где внимание должно быть уделено суммарной длине коротких и длинных проводников и суммарной длине проводников межсоединений.

Поверхности питания и "земли" постоянного тока функционируют так же, как опорные поверхности переменного тока. Штыри соединителя питания и "земли" должны быть равномерно распределены вдоль края платы к опорной поверхности переменного тока.

Как общее правило, конструкции опорных поверхностей многослойной печатной платы не должны быть сегментными. Ограниченная сегментация поверхности, в которой сегментированная поверхность обеспечена приподнятой до смежного сигнального слоя поверхностью и сквозными металлизированными отверстиями с шагом примерно 2,54 мм с обеих сторон проводника, может быть использована для “заглубления” специального высокочастотного сигнала, чтобы создать “коаксиальный тип” линии внутри платы. Расстояние между отверстиями зависит от частоты сигнала.

6.4.5 Рассмотрение емкости.

На рис. 6-6 и рис. 6-7 показаны емкость на единицу длины медного проводника для микрополосковой и полосковой линии соответственно. Эти графики представляют емкость в пф/фут медных проводников толщиной 35 мкм для различных толщин диэлектрика до поверхностей земли или питания. График на рис. 6-7 для полосковой линии базируется на проводнике, симметрично расположенном по центру между поверхностями земли и питания проводнике.

Емкость простого пересечения проводников (см. рис. 6-8) является очень небольшой и обычно составляет долю пикофарады. С увеличением количества пересечений на единицу длины также увеличивается емкость линии передачи сигнала. Емкости пересечений проводников добавляют емкость линии. Емкость пересечения проводников может быть представлена:

$$Cc = X\varepsilon_r(1+0,8h)\,\frac{(W+0,8h)}{h} \quad \text{в пикофарадах}$$

Предусматривается что $l \geq 0,5h$

$W \geq 0,5h$

где:

x = 0,0089 если h, l и W в миллиметрах

ε_r = относительная диэлектрическая проницаемость

h = толщина диэлектрика в месте пересечения

l = длина

W = ширина

6.4.6 Рассмотрение индуктивности.

Индуктивность является свойством проводника, который допускает аккумулирование энергии в магнитном поле, вызванном током, протекающим через этот проводник. Если этот ток содержит высокочастотные составляющие, самоиндукция выводов и трасс становится существенной, приводя к переходным или переключаемым шумам. Эти переходные процессы, вызванные индуктивностью контура питание/земля и цепями, должны быть разрешены так, чтобы уменьшить индуктивность насколько возможно.

Общим способом снижения этого переключающего шума является применение развязывающих конденсаторов, которые служат для протекания тока

от точки включателя к ИС, а не к источнику питания. Даже когда эти конденсаторы предусмотрены в схеме, положение конденсатора является важным. Если выводы конденсатора слишком длинны, то самоиндукция становится слишком высокой, приводя к шуму переключения.

Развязка на платах обычно достигается с помощью дискретных конденсаторов, которые могут быть размещены близко к ИС.

Для корпусов с большим числом входов/выходов наметилась тенденция размещения развязывающего конденсатора внутри корпуса. Это дает двойное преимущество, состоящее в экономии реального пространства для размещения конденсатора и уменьшении размеров межсоединений конденсатора.

Другим учитываемым обстоятельством является использование небольших диаметров переходных отверстий и размеров связанных с ними площадок. Изменение переходных отверстий с 0,5 мм до 0,3 мм уменьшит паразитную индуктивность в схеме. Чем меньше диаметр переходных отверстий, тем больше они улучшают схему.

Тесно расположенные смежные плоскости питания и земли также используются как высокочастотная развязывающая емкость. Это также сокращает реальное пространство, требуемое для развязывающих конденсаторов.

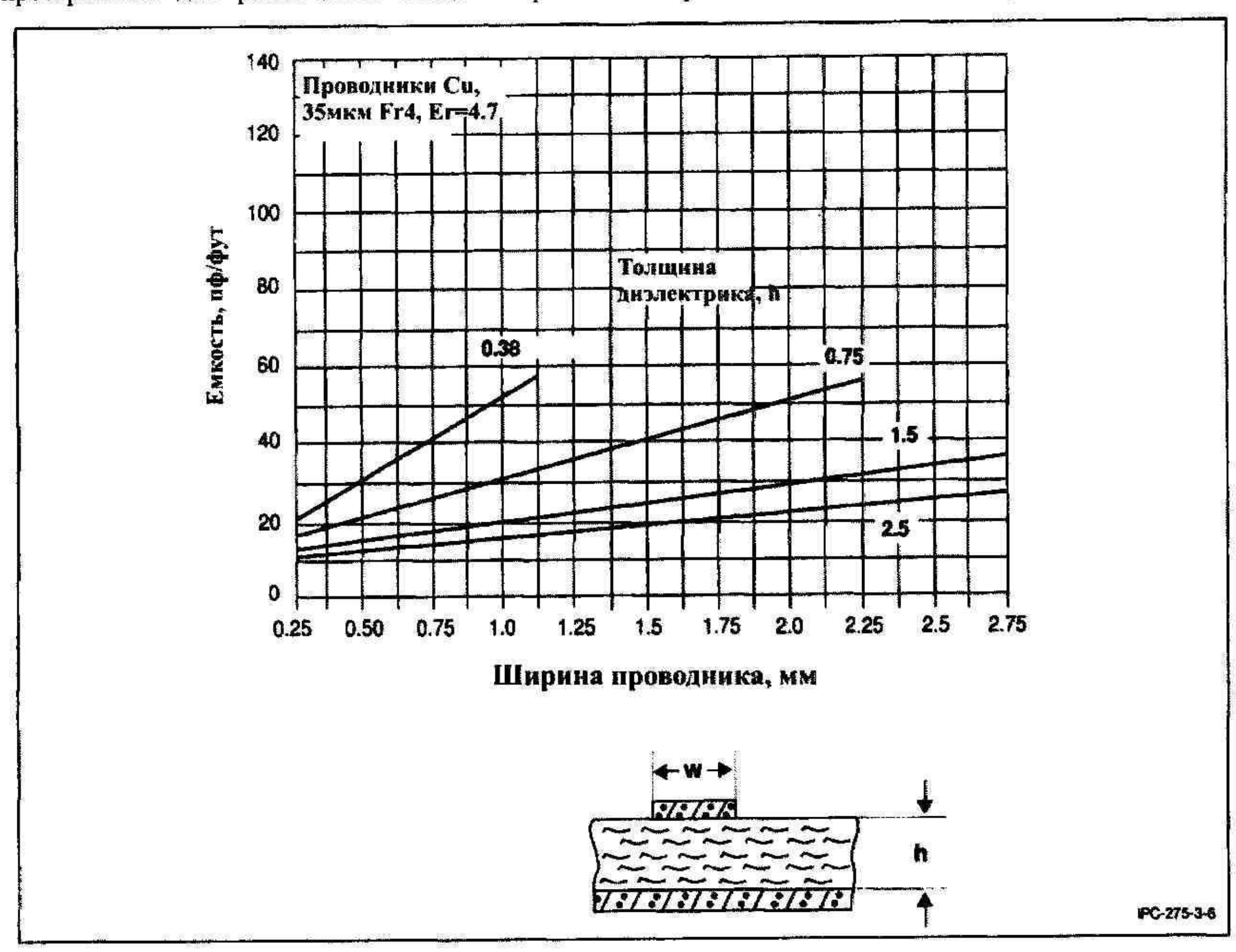


Рис. 6-6 Зависимость емкости от ширины проводника и толщины диэлектрика для микрополосковых линий, мм

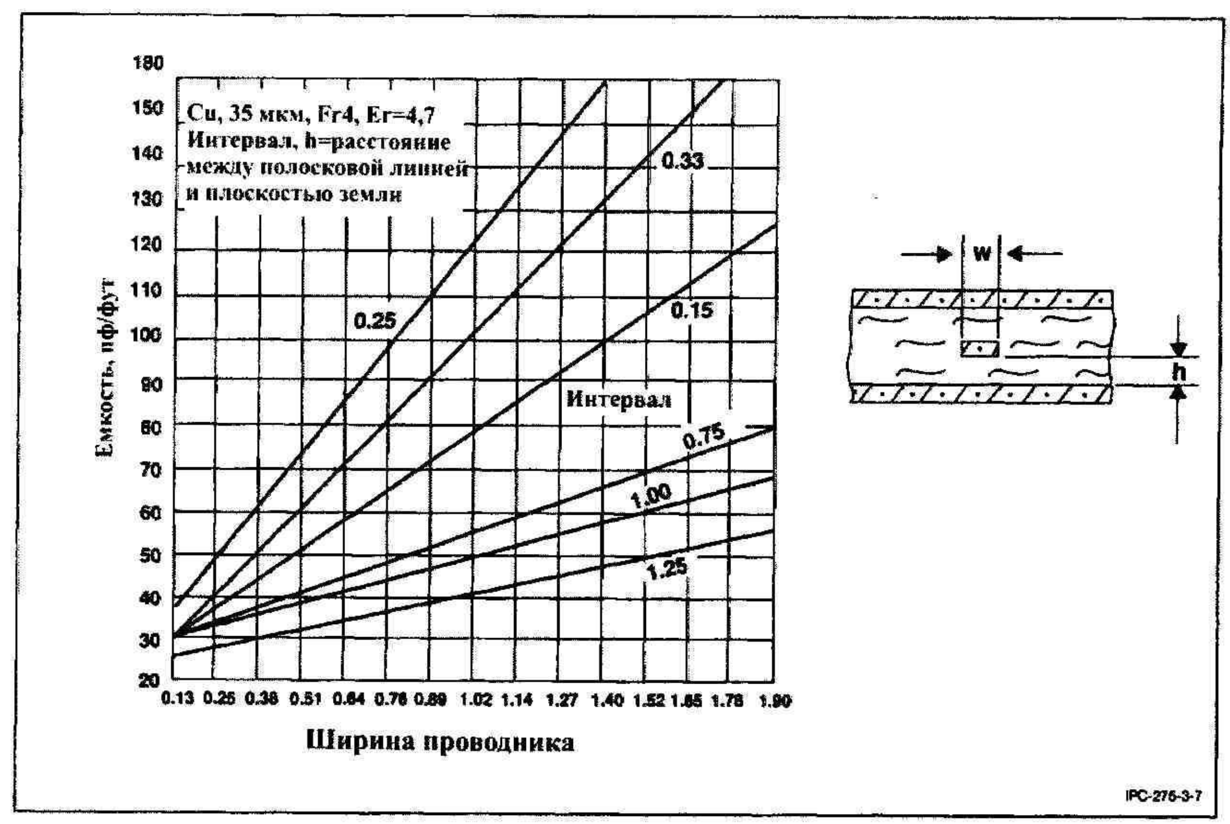


Рис. 6-7 Зависимость емкости от ширины проводника и интервала для полосковых линий, мм

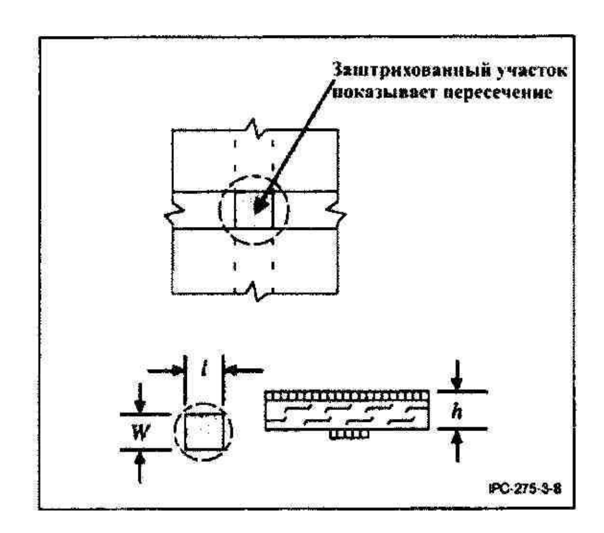


Рис. 6-8 Пересечение проводников

7.0 Управление теплом

Этот раздел посвящен вопросам управления температурой и рассеяния тепла. Этот материал, связанный с соответствующим тепловым анализом (см. IPC-D-330), может способствовать существенному снижению тепловой нагрузки и улучшению надежности компонентов, паяных соединений и печатных плат.

Основной целью управления теплом является гарантия того, что все компоненты схемы, особенно интегральные схемы, будут эксплуатироваться в функциональных и максимально допустимых пределах. Функциональные пределы температуры задаются окружающей средой или температурным диапазоном корпуса компонента, в пределах которых допускается правильное функционирование электронных схем.

Метод охлаждения, который должен быть использован для сборки на печатной плате, должен быть известен для обеспечения правильного конструирования сборки на печатной плате. Для промышленного применения может быть использовано непосредственно воздушное охлаждение (т.е. когда охлаждающий воздух соприкасается со сборкой на печатной плате). В жестких условиях эксплуатации для охлаждения сборки на печатной плате должно использоваться косвенное охлаждение. В этих случаях применения сборка монтируется на каркасе, который охлаждается воздухом или жидкостью, а компоненты охлаждаются за счет теплопроводности через теплопередающую поверхность. Эти конструкции должны применять соответствующие металлические теплоотводы на сборке печатной платы. Может потребоваться соответствующий монтаж и соединение компонента. Для обеспечения соответствующей тепловой конструкции сборки на печатной плате и проведения теплового анализа долж-

ны быть предусмотрены схемы теплового рассеяния.

7.1 Механизмы охлаждения

Рассеяние тепла, образованного в электронной аппаратуре, происходит тремя основными видами передачи тепла: теплопроводностью, излучением и конвекцией. Эти виды передачи тепла могут и часто действуют одновременно. Т.о, любое решение теплового управления должно быть попыткой максимизировать их естественное взаимодействие.

7.1.1 Теплопроводность

Первым видом передачи тепла, с которым приходится встречаться, является теплопроводность. Теплопроводностью в различной степени обладают все материалы. Передача тепла через материал прямопропорциональна коэффициенту теплопередачи (К) материала, площади поперечного сечения, через которую совершается теплопередача, и разности температур по сечению материала. Теплопередача обратнопропорциональна длине пути тепла и толщине материалов (см. табл. 7-1).

7.1.2 Излучение.

Тепловое излучение является передачей тепла путем электромагнитного излучения, особенно в инфракрасной (ИК) области длин волн. Излучение является единственным средством передачи тепла между телами, находящимися в вакууме.

Передача тепла путем излучения является функцией поверхности "горячего" тела с учетом его излучательной способности, полезной площади поверхности и разности температур, возведенной в четвертую степень.

Излучательная способность имеет пониженный показатель для поверхностей, которые не являются "черными телами". Она определяется как отношение мощности излучения данного тела к мощности излучения "черного тела", для которого излучательная способность равна единице (1.0). Видимый цвет тела оказывает небольшое влияние на существование "нагретого черного тела". Излучательная способность анодированного алюминия остается той же самой, будь он черным, красным или голубым. Однако шероховатость поверхности очень важна. Матовая или тусклая поверхность будет более излучающей, чем полированная или блестящая поверхность (см. табл. 7-2).

Таблица 7-1 Влияние вида материала на тепловодность

Материалы	Коэффициент теплопроводности (К)	
	Ватт/м °С	грамм-калория/см °С · сек
Неподвижный воздух	0,0276	0,000066
Эпоксид	0,200	0,00047
Теплопроводный эпоксид	0,787	0,0019
Алюминиевый сплав 1100	222	0,530
Алюминиевый сплав 3003	192	0,459
Алюминиевый сплав 5052	139	0,331
Алюминиевый сплав 6061	172	0,410
Алюминиевый сплав 6063	192	0,459
Медь	194	0,464
Низкоуглеродистая сталь	46,9	0,112

Таблица 7-2 Оценки излучательной способности некоторых материалов

Материал и отделка поверхности	Излучательная способность
Алюминиевый лист, полированный	0,040
Алюминиевый лист, необработанный	0,055
Акодированный алюминий – цвет любой	0,80
Латунь, промышленная	0,040
Медь, промышленная	0,030
Медь, обработанная на станке	0,072
Сталь, катаный лист	0,55
Сталь, оксидированная	0,667
Никелевая пластина, тусклая поверхность	0,11
Серебро	0,022
Олово	0,043
Масляные краски, цвет любой	0,92-0,96
Лак, цвет любой	0,80-0,95

Устройства, компоненты и т.д., расположенные близко один к другому, будут поглощать друг от друга энергию излучения. Если излучение являет-

ся основным способом передачи тепла, то "горячие" участки должны располагаться с достаточным зазором друг от друга.

7.1.3 Конвекция

Способ передачи тепла конвекцией является наиболее сложным. Он включает передачу тепла путем перемешивания газа, обычно воздуха.

Скорость теплового потока за счет конвекции от тела к газу является функцией площади поверхности тела, разности температур, скорости газа и некоторых свойств газа.

Контакт любого газа с горячей поверхностью снижает плотность газа и вызывает его подъем. Образуемая в результате этого явления циркуляция называется "свободной" или "естественной" конвекцией. Поток воздуха при конвекции может быть усилен с помощью внешних искусственных устройств, таких как вентилятор или нагнетатель воздуха. Передача тепла путем принудительной конвекции может быть в десять раз более эффективна, чем при естественной конвекции.

7.1.4 Влияние высоты

Конвекция и излучение являются основными способами, с помощью которых тепло передается окружающему воздуху. На уровне моря приблизительно 70% тепла рассеивается электронной аппаратурой за счет конвекции и 30%-излучением.

С уменьшением плотности воздуха снижается эффективность конвекции. На высоте 5200м над уровнем моря тепло, рассеиваемое за счет конвекции, может быть меньше половины тепла, рассеиваемого излучением. Это необходимо учитывать при конструировании авиационной аппаратуры.

7.2 Рассмотрение рассеяния тепла.

В конструкции многослойных печатных плат для удаления тепла со сборки на печатной плате с высоким тепловым излучением следует предусмотреть применение:

- Теплоотводящих внешних пластин (обычно медных или алюминиевых);
- Теплоотводящих внутренних плоскостей;
- Специального крепления теплоотвода;
- Способов соединения с корпусом;
- Жидкостных хладагентов и формирования теплоотвода;
- Тепловых трубок;
- Теплоотводящих, ограничивающих линейную деформацию подложек.

7.2.1 Рассеяние тепла отдельным компонентом.

Для теплоотвода от отдельных компонентов могут применяться разнообразные способы. В разделе 8.1.10 этого стандарта содержится информация по некоторым теплоотводящим устройствам, которые поставляются с отдельными компонентами, требующими особого рассеяния тепла. Кроме того, следует учесть:

- Монтаж теплоотвода (крепеж или пайка);
- Теплопроводные клеи, пасты или другие материалы;
- Требования к температуре припоя;
- Требования к очистке под теплоотводами.

7.2.2 Управление теплом печатной платы с теплоотводами

При размещении компонентов на печатной плате следует обратить внимание на следующие факторы:

1. Метод монтажа теплоотвода к печатной плате (т.е. клеевые соединения, заклепки, винты и т.п.).
2. Толщину теплоотвода и сборку на печатной плате для обеспечения соответствующего выступания вывода компонента над платой.
3. Зазоры для автоматического монтажа компонента (см. Рис. 7-1).
4. Материал теплоотвода и его свойства.
5. Обработку поверхности теплоотвода (т.е. анодирование, химическое покрытие и т.д.).
6. Методы монтажа компонента (т.е. с прокладками, на винтах, приклеивание).
7. Путь и скорость передачи тепла.
8. Технологичность (т.е. метод сборки, метод очистки и т.д.).
9. Требуемый диэлектрический материал между теплоотводом и любыми схемами, которые могут располагаться на теплоотводе, смонтированном на поверхности печатной платы.
10. Расстояние от края платы до любой незащищенной (открытой) схемы (т.е. контактных площадок компонента и проводников). Размер и размещение установочных (для сборки, контроля) отверстий.
11. Конфигурацию теплоотвода и ее согласованность с конструкцией теплоотвод/сборка на печатной плате.
12. Теплоотвод должен полностью поддерживать компонент. Не допускать возможности сбрасывания компонента при сборке или пайке.

Теплоотводы **должны** быть сконструированы так, чтобы избежать образования ловушек влаги и обеспечить доступ для очистки после пайки. Это может быть достигнуто за счет выполнения в теплоотводе открытых прорезей вместо круглых с зазором отверстий под корпуса ТО-204-АА, ТО-213-АА и аналогичные корпуса с выводами, которые проходят через теплоотвод и припаиваются к печатной плате.

Теплоотводы в сборках на печатных платах с монтажом в сквозные отверстия обычно имеют лестничную конфигурацию, когда используются стандартные типы корпусов (т.е. ДИП – корпуса и компоненты с осевыми выводами).

Лестничный тип теплоотвода предпочтителен благодаря относительной простоте конструкции и изготовления. На рис.7-1 показаны стандартные зазоры между теплоотводом и компонентами, которые необходимы для облегчения автоматического вставления выводов компонентов в отверстия печатной платы.

Определенные сборки на печатных платах (например, источники питания и другие, в особенности аналоговые схемы) используютмного различных типов компонентов. Функционирование этих аналоговых схем может очень сильно зависеть от размещения компонентов. Для аналоговых схем теплоотводы иногда не могут быть спроектированы по типу лестничной конструкции, однако они должны быть сконструированы с учетом технологичности. Минимизация количества уникальных форм вырезов и числа участков, где толщина теплоотвода должна изменяться (требуя фрезерования или наслоения), будет повышать технологичность теплоотвода. При использовании механически обработанных теплоотводов должны быть предприняты усилия для применения максимально больших радиусов в углах, что повысит технологичность (например, 3 мм радиусы могут стоить существенно больше в изготовлении, чем 6 мм радиусы).

Во всех случаях теплоотводы для аналоговых устройств, в которых невозможно использовать лестничную конфигурацию, должны проектироваться параллельно с печатной платой (после завершения разводки), при этом должна быть проанализирована технологичность, как для изготовления теплоотвода, так и для сборки на печатной плате. Высвобождение в теплоотводе у сквозного металлизированного отверстия должно быть на 2.5 мм больше, чем отверстие; оно включает диэлектрическое расстояние и допуск на несовмещение.

7.2.3 Сборка теплоотводов с платами.

Сборка теплоотводов с печатными платами может быть выполнена с учетом перечисленных ниже рекомендаций (в порядке производственного предпочтения). Если плата и теплоотвод закуплены для сборки, изготовитель может иметь другие предпочтения. В табл. 7-3 представлены предпочтительные методы сборки платы с теплоотводом. Подробности этих методов сборки следующие:

1. *Механический крепеж:* Клепка является предпочтительным способом крепления, но следует обратить внимание на выбор заклепок (сплошные или трубчатые), монтаж заклепок, чтобы избежать повреждения диэлектрика печатной платы. Винты следует применять, если предполагается разборная конструкция. Плотный контакт может быть необходим, чтобы противостоять вибрации или улучшить передачу тепла. Применение клеев вместе с механическим крепежом может способствовать короблению конструкции, но может и помочь в снижении вибрации. Сухие пленочные эпоксидные клеи предпочтительнее жидких, т.к. толщину клеевого слоя и его вытекание легче контролировать. Температура склеивания должна быть, по возможности, низкой для минимизации коробления.
2. *Пленочные клеи:* Пленочный клей вырубается штампом или механически вырезается в соответствии с контуром теплоотвода. Режимы сушки клея и связанное с ними коробление сборки теплоотвод/ печатная плата являются проблемами, которые влияют на технологичность. О пленочных клеях см. 4.2.3.
3. *Жидкие клеи:* Жидкий клей влияет на технологичность из-за трудностей его применения, связанных с циклом его сушки и короблением сборки теплоотвод/печатная плата. Для соединения теплоотвода с платой хорошо подходят рекомендованные конструкционные клеи, перечисленные в 4.2.2.

Технические требования к толщине адгезива влекут компромисс между контактной поверхностью (профилем склеивания) и технологичностью. Линия склеивания может снижаться за счет непостоянства процесса (например, подготовки поверхности или чистоты), деформации (коробления) материала и выступов поверхности (особенно проводников с толщиной меди 70 мкм). Большее количество клея может улучшить контакт, но избыток клея может вытекать из-под теплоотвода и загрязнять контактные площадки и сквозные металлизированные отверстия. Во многих случаях 75% связи теплоотвода с платой считается достаточным, но следует проявлять осторожность во избежание образования ловушек для улавливания влаги или флюса, которые невозможно очистить. Клеевое соединение увеличивает собственную частоту колебаний сборки на печатной плате больше, чем собственная частота колебаний, которая достигается только за счет механического крепления. Теплопередача может также улучшиться при использовании клеевого соединения.

Таблица 7-3 Преимущества сборки теплоотвода с печатной платой.

Способ	Основные преимущества	Основные недостатки	Примечание
Заклепки	Механическое крепление, отсутствие теплового воздействия и применение клея.	Потеря площади платы и отверстия, необходимые для заклепок.	Применяются стандартные размеры заклепок.
Винты	Возможность разборки	Требует прокладок и гаек, площади платы и отверстий.	Применяется стандартный крепеж.
Пленочный клей	Нет потерь площади, возможно улучшение теплопередачи, увеличение собственной частоты колебаний, повышение изоляции.	Время сушки и возможное коробление.	Низкая температура сушки уменьшает коробление.
Жидкий клей	Нет потерь площади печатной платы, возможно улучшение теплопередачи, увеличение собственной частоты колебаний.	Технологичность из-за времени сушки и возможность коробления.	Низкая температура сушки уменьшает коробление.

7.2.4 Рассмотрение специальной конструкции теплоотводов плат для поверхностного монтажа.

Поверхностно-монтируемые теплоотводы могут существенно влиять на коэффициент теплового расширения (КТР) сборки с поверхностным монтажом. Надежность паяных соединений поверхностно-монтируемого компонента подвергается риску, если используется материал с высоким КТР, а также зависит от внешних условий эксплуатации сборки на печатной плате с поверхностым монтажом. В условиях лаборатории сборка с поверхностным монтажом не подвергается воздействию значительных изменениий температуры и поэтому для теплоотвода могут применяться материалы, такие, например, как алюминиевый сплав 1100.

Большинство условий окружающей среды требует применения для теплоотводов материалов с низким КТР для обеспечения длительного срока службы паяных соединений.

Теплоотводы, применяемые в сборках с поверхностным монтажом, встроены внутрь печатной платы (обычно это слои медь-инвар-медь, запресованные в печатной плате) или представляют собой массивную пластину, которая приклеена к печатной плате сборки (модуля) с поверхностным монтажом с одной или обеих сторон.

Склеивание теплоотвода с двумя печатными платами требует податливого слоя клея для компенсации различия в КТР теплоотвода и печатной платы, который служит для демпфирования вибрации и передачи тепла. Твердый пленочный клей обеспечивает возможность проверки материала, что позволяет сборщику проконтролировать отверстия под контакты, которые могут образоватьэлектрическое соединение теплоотвода с печатной платой.

При проектировании печатных плат следует избегать использования под теплоотводами переходных отверстий. Для большинства клеевых систем в процессе их отверждения используется давление, которое может привести к вытеканию клея из отверстия и создать условия для короткого замыкания между переходным отверстием и теплоотводом.

Силиконовые пленочные клеи очень эффективны для склеивания печатных плат с массивным теплоотводом. Целостность клеевого соединения силиконовыми пленочными клеями зависит от правильного применения грунтовки на склеиваемых поверхностях. Следует соблюдать осторожность для исключения загрязнения силиконом поверхностей, которые должны быть запаяны и/или покрыты конформным покрытием. О силиконовых клеях см. 4.2.2. Для минимизации коробления законченной сборки, термических и механических напряжений в смонтированных компонентах, возникающих в процессе сушки клея, следует выбирать силиконовый клей с низкой температурой сушки. Это может быть необходимо при монтаже некоторых компонентов вручную после завершения процесса приклеивания.

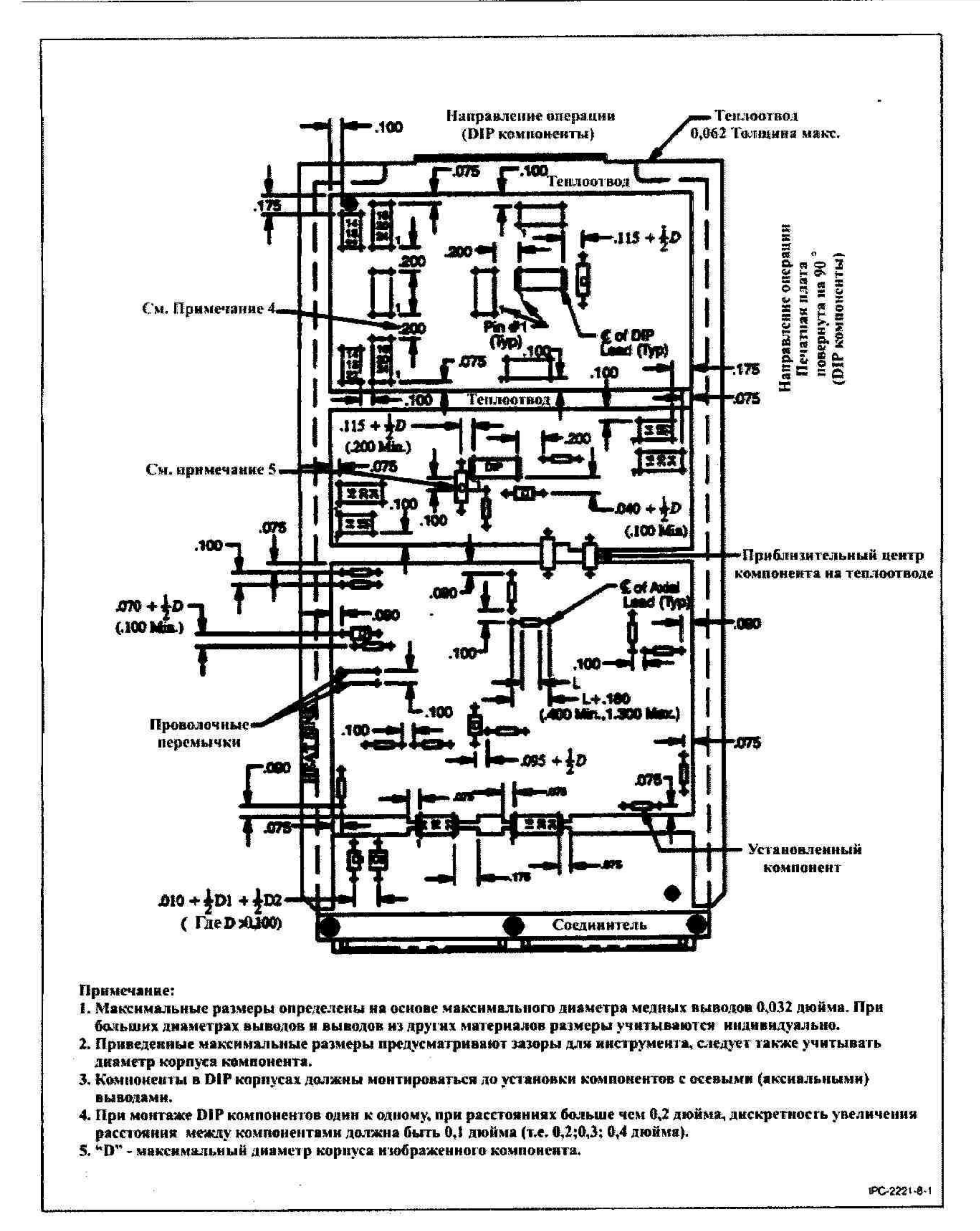


Рис. 7-1 Требования к зазорам между компонентами при автоматическом монтаже компонентов в сквозные металлизированные отверстия (в дюймах)

7.3 Способы передачи тепла.

7.3.1 Характеристики коэффициента термического расширения (КТР).

При применении поверхностно-монтируемых компонентов КТР структуры межсоединений становится важным для рассмотрения. В табл. 7-4 заданы расчетные показатели надежности, связанные с различиями характеристик расширения по осям X и У компонента и подложек, расстоянием от паяного соединения до нейтральной точки (точки с нулевой деформацией) и высотой паяного соединения. Этот показатель связан с полной деформацией паяного соединения за цикл. Важным является минимизация разницы в КТР компонента и сборки на печатной плате. Типичные керамические подложки имеют КТР от 5 до 7 $x10^{-6}/°C$. На рис. 7-2 приведены КТР для некоторых материалов, используемых как в чистом виде (полиимид, стекло или эпоксид), так и в виде некоторых материалов подложек, ограничивающих деформацию, используемых в сочетании с диэлектрическими материалами печатной платы.

7.3.2 Передача тепла.

Компоненты, которые по тепловым причинам требуют увеличенной поверхности контакта с платой или с теплоотводом, смонтированным на плате, **должны** быть совместимы с технологическими растворами по граничной поверхности теплопередачи или защищены от них.

Некоторые теплопередающие среды должны использоваться таким способом, при котором они не будут разрушаться при последующих сборочных операциях (т.е. термосмазка, нитрид бора могут быть разрушены или удалены при проведении технологических операций). Захват технологических растворов также должен быть исключен.

7.3.3 Тепловое выравнивание.

Основной проблемой для стеклянных компонентов, монтируемых в отверстие, и керамических поверхностно-монтируемых компонентов, связанной с тепловыделением, является несогласованность термического расширения между компонентом и печатной платой. Результатом этой несогласованности могут быть разрушенные паяные соединения, если сборка подвергается термоудару, термоциклированию, циклическому включению питания и воздействию высоких эксплуатационных температур.

Количество циклов усталости до разрушения паяного соединения зависит, но не ограничено, от несогласованности теплового расширения между компонентом и печатной платой, отклонения температуры, выше которой сборка должна работать, размеров паяного соединения, размеров компонента и от циклического электропитания, которое может вызывать нежелательное рассогласование теплового расширения, если существует значительная разница температур между компонентом и платой.

7.4 Надежность тепловой конструкции.

Расчетный срок службы изделия может быть подтвержден результатами сравнительного испытания, имитирующего условия эксплуатации. В табл. 7-4 представлен пример верификации проекта поверхностно-монтируемых устройств для трех условий эксплуатации: 0,1 цикла/день, 1 цикл/день и 10 циклов/день. Указанные условия эксплуатации представлены четырьмя категориями различных диапазонов температуры.

В таблице установлен индекс относительной надежности ($10^{-6}/°C$) при разработке (конструкции) в зависимости от желаемого срока службы аппаратуры 5, 10 или 20 лет. Индекс надежности R является коэффициентом, который может быть использован при расчете, если сборка (модуль) должна "выжить" в условиях ожидаемого срока службы.

$R = \Delta y/\Delta T \cong L_D \Delta\alpha / h[(ppm/^0C)]$,

где:

Δy= общая деформация в точке пайки (ppm)

ΔT=максимальное отклонение циклической температуры

L_D=половина максимального расстояния между центрами точек пайки любых компонентов, от угла до угла или от края до края

$\Delta\alpha$=абсолютная разность коэффициентов термического расширения подложки и компонента ($ppm/^0C$)

h = высота паяной точки (мм)

Таблица 7-4 Таблица относительной надежности соединения вывод/контакт компонента.

Термоциклы в условиях эксплуатации, [°C]	Расчетный срок службы (годы)								
	5			10			20		
	Частота циклов (циклов/день)								
	0,1	1	10	0,1	1	10	0,1	1	10
	Средняя частота циклов за срок службы (циклов/день)								
	183	1825	18,250	365	3650	36,500	730	7300	73,000
	Индекс относительной надежности, R (10^{-6}/°C)								
От +20 до +40	2200	790	360	1600	580	270	1150	420	200
От +20 до +80	670	240	110	490	170	79	350	130	58
От -40 до +40[1]	600	230	110	440	170	83	330	130	62
От -40 до 80[1]	370	140	65	270	100	48	200	75	36

(1) Эти условия охватывают область перехода от возникшего механического напряжения (< 20°C) до возникшей деформации/ползучести (>+20°C); для таких условий показано, что усталость возникает значительно раньше благодаря механизму, отличному от механизма положенного в основу этой таблицы надежности, и следует предполагать, что значения R для этих условий являются оптимистическими.

Больший срок службы или более жесткие требования приводят к меньшим значениям показателя надежности в таблице. Индекс надежности приблизительно отражает максимальную циклическую деформацию, которая будет получена в результате усталости за средний срок службы только при равенстве с ожидаемым расчетным сроком службы. Таблица, в основном, предназначена для компонентов без выводов; для компонентов с выводами некоторые основные соотношения будут другими, которые, не изменяя указанные тенденции, будут изменять значения, приведенные в таблице. Среднее значение срока службы при термоциклировании означает только то, что половина компонентов окажется неисправной, но не означает отказа первого компонента изделия. Статистическое распределение отказов из-за усталости паяного соединения должно быть включено в оценку надежности.

В случае компонентов в стеклянном корпусе, монтируемых в отверстие печатной платы, часто достаточно предусмотреть изгиб выводов компонента для снижения механических напряжений (см. раздел 8.1.11). Для поверхностно-монтируемых компонентов количество циклов испытания на усталость может быть увеличено за счет снижения несогласованности термического расширения, уменьшения градиента температуры, увеличения высоты паяного соединения, применения, по возможности, наименьших размеров компонента и оптимизации передачи тепла между компонентом и печатной платой. Более подробная информация изложена в IPC-D-279 и IPC-SM-785 и IPC-9701.

8.0 Компоненты и проблемы сборки.

Монтаж и присоединение компонентов играет важную роль в конструкции печатной платы. Кроме их очевидного влияния на плотность размещения компонентов и трассировку проводников, эти аспекты также влияют на изготовление, сборку, целостность паяных соединений, ремонтопригодность и тестирование. Следовательно, важным является то, что конструкция отражает соответствующие компромиссы, которые согласуются с теми или иными важными вопросами изготовления.

Все компоненты должны быть выбраны так, чтобы аппаратура, где они установлены, при сборке и в течение всего срока службы могла противостоять вибрации, механическому удару, влажности, термоциклированию и воздействию других факторов окружающей среды. Конструктор должен учитывать нижеприведенные требования и подробно отражать их в особых указаниях сборочного чертежа и рисунках.

Как минимум, при монтаже и присоединении компонентов должно учитываться следующее:

- Требования к электрическим параметрам схемы и электрическим зазорам.
- Требования к воздействию окружающей среды.
- Выбор активных и пассивных компонентов и крепеж для соединения.
- Габариты и вес.
- Минимизация образования тепла и проблемы рассеяния тепла.
- Требования к изготовлению, обработке и обращению.
- Договорные требования.
- Требования к обслуживаемости.
- Используемое оборудование и ресурс.
- Требования к автоматическому размещению и монтажу, если такие методы сборки должны использоваться.
- Методы контроля (испытания), которые должны использоваться до, в процессе и после сборки.
- Вопросы ремонта и обслуживания.
- Разгрузка механических напряжений.
- Требования к клеям.

8.1 Общие требования к размещению.

8.1.1 Автоматическая сборка.

При использовании автоматической сборки компонентов необходимо учитывать некоторые параметры конструкции печатной платы, которые не принимаются во внимание при ручных способах сборки

8.1.1.1 Габариты платы.

Габаритные размеры печатной платы для автоматической сборки могут существенно изменяться. Следовательно, технические характеристики производственного оборудования должны быть оценены с учетом требований к законченной сборке (см. 5.3.3).

Стандартизация операций автоматической сборки может быть достигнута с использованием стандартных приспособлений, которые могут подходить для плат ряда габаритов или плат-заготовок для сборки (содержащих несколько плат). Применение плат-заготовок для сборки требует тесного взаимодействия с изготовителем печатных плат для того, чтобы установить концепцию механической обработки, расположение установочных отверстий, расположение платы, тест-купонов и реперных знаков.

8.1.1.2 Смешанный монтаж.

Автоматические процессы, применяемые как для поверхностно-монтируемых компонентов, так и для компонентов, монтируемых в отверстия печатной платы, требуют специального рассмотрения конструкции сборки для того, чтобы компоненты, смонтированные на первом этапе сборки платы (модуля), не мешали монтажным головкам автоматов на втором этапе сборки. При размещении компонентов **должны** учитываться механические нагрузки, действующие на плату при монтажных операциях.

Для устранения воздействия механической нагрузки на паяные соединения компоненты следует размещать и монтировать на особых участках платы.

8.1.1.3 Поверхностный монтаж.

Автоматическая сборка поверхностно-монтируемых компонентов использует установки типа “взять и установить” для позиционирования/размещения чип компонентов, дискретных кристаллодержателей, малогабаритных корпусов и плоских корпусов.

В конструкцию платы должны быть включены специальные символы ориентации для того, чтобы обеспечить легкость контроля собранного поверхностно-монтируемого узла. Для идентификации вывода корпуса интегральной схемы могут использваться специальные символы или особая конфигурация контактной площадки

8.1.2 Размещение компонента.

Всякий раз, по-возможности, элементы и компоненты, монтируемые в отверстия печатной платы, следует устанавливать на стороне печатной платы, противоположной той, которая будет соприкасаться с расплавом припоя, если плата подвергается механизированной пайке.

Смешивание компонентов, монтируемых в отверстие платы, и поверхностно-монтируемых компонентов или монтаж компонентов на обеих сторонах платы требует полного понимания процессов сборки и соединения (см. IPC-CM-770 и IPC-SM-780).

Всякий раз, по возможности, если выводы компонентов проходят через отверстия, компоненты с аксиальными и неаксиальными выводами должны монтироваться согласно IPC-CM-770 только на одной стороне печатной платы сборки (модуля).

Если компонент или деталь специально не сконструированы в соответствии с конфигурацией сопрягаемого элемента, то **не должно** допускаться пакетирование (штабелирование) компонентов и деталей (см. J-STD-001). Выводы компонента **должны** быть смонтированы на поверхности платы , в отверстие платы или соединены с контактными лепестками. Вывод и концы провода **должны** быть припаяны, соединены методом проводного монтажа, накруткой или с использованием соответствующих штырей

Отклонение в действительном расположении выводов компонента в металлизированных отверстиях платы или на контактных площадках в сочетании с допусками на очертания компонента (корпус и выводы) будет вызывать смещение корпуса компонента от номинального положения монтажа. Это несовмещение **должно** учитываться для того, чтобы наихудший случай расположения компонентов не снижал электрическое расстояние до соседнего печатного монтажа или других проводящих элементов до величины, меньше минимально допустимой.

Если компонент крепится к поверхности печатной платы с помощью клея (конструкционного или теплопроводного), при размещении компонента **должен** учитываться участок покрытия клеем с тем, чтобы применение клея не приводило к его вытеканию на любые контактные площадки.

Для крепления компонента **должен** быть указан тип клеящего материала и контроль его количества с тем, чтобы компоненты демонтировались без повреждения сборки на печатной плате (модуля). Используемый клей **должен** быть совместим как

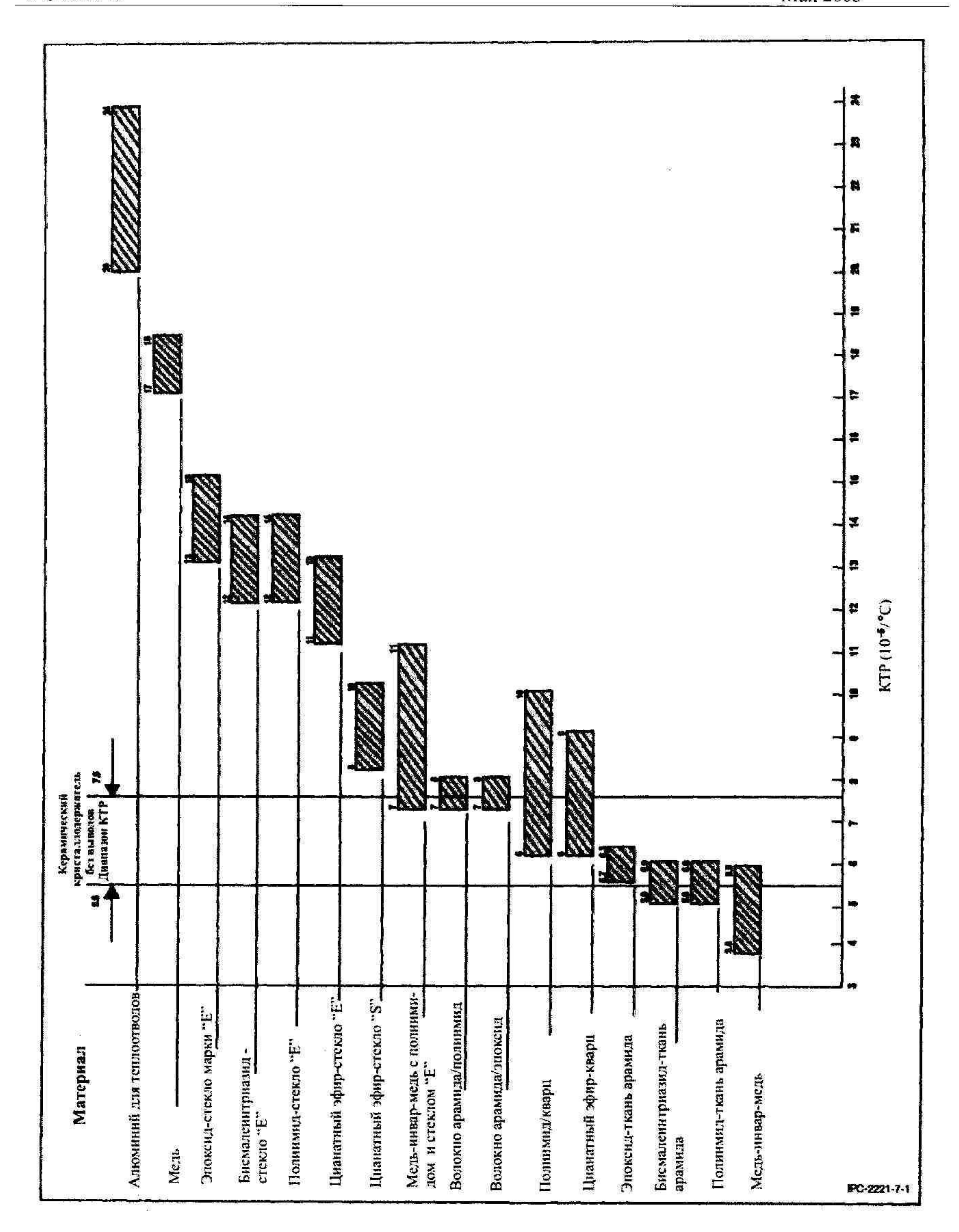


Рис. 7-2 Сравнение коэффициентов теплового расширения (КТР)

с материалом печатной платы, так и с компонентом, а также с любыми элементами или материалами, контактирующими с клеем.

Для некоторых клеев контакт с соседними компонентами может быть неприемлем. Возможность контакта с паяными выводами или воздействие на поверхность соседних компонентов зависит от материала.

Тепловые вопросы, функциональное разбиение, электрические проблемы, плотность компоновки, ограничения автоматов-установщиков типа "взять и установить", держатели для пайки волной, вопросы вибрации, взаимовлияние компонентов, легкость изготовления и испытания и т.д.-все влияет на размещение компонентов.

Компоненты должны размещаться, как правило, в координатной сетке с шагом 0,5 мм. Если сетка с шагом 0,5 мм не отвечает требованиям, для размещения должна использоваться сетка с шагом 0,05 мм. Некоторые элементы (такие, как реле) имеют выводы, расположение которых не соответствует стандартным сеткам, а с другой стороны компоненты должны быть размещены так, чтобы сквозные отверстия располагались в сетке.

Выводы, расположенные не в сетке, имеют и другие компоненты. В этих случаях в сетке рекомендуется размещать центр элемента.

Если оборудование или другие ограничения не позволяют использовать метрическую сетку, то элементы могут размещаться в сетке с шагом 2.54 мм. Если такая сетка не подходит , может быть использована сетка с шагом 1.27 мм или даже 0.64 мм. Размещение в сетке 2.5 мм облегчает не только монтаж компонентов в отверстия, но также и тестирование с игольчатыми адаптерами как платы, так и сборки на плате (модуля). Если должно применяться тестирование с применением игольчатых адаптеров (включая внутрисхемный контроль модуля/сборки на печатной плате), то тестовое приспособление становится более сложным, если компоненты размещены вне сетки.

На рис. 7.1 показана технологичная конструкция, допускающая автоматическую установку компонентов в отверстие платы. Для печатных плат с монтажом выводов компонентов в отверстия платы должна предусматриваться свободная зона от компонента до края платы по двум противоположным сторонам платы для размещения опорных пальцев транспортера установки пайки волной припоя. Другие конструкции плат потребуют использования приспособлений при пайке волной.

При размещении элементов должны соблюдаться как требования к теплоотводу платы, так и учитываться теплоотвод компонента.

Если сборка на печатной плате не будет тестироваться с применением игольчатых адаптеров, то координатная сетка платы будет ограничена только монтажным оборудованием. Если сборка на печатной плате контролируется с применением игольчатых адаптеров, то для размещения сквозных металлизированных отверстий на плате предпочтительна координатная сетка с шагом 2.54 мм. Для конструкций с более высокой плотностью размещения компонентов допускается применение координатной сетки с шагом 1.91 мм, что не связано со сборочным оборудованием, а касается тестирования несмонтированной платы и готовой сборки (модуля), если для контроля используются игольчатые адаптеры. Обычно контроль несмонтированных печатных плат выполняет предприятие-поставщик печатных плат и там нет денежных штрафов ни за неиспользование координатной сетки, ни за использование координатной сетки с уменьшенным шагом при тестировании.

Конструктор должен предусмотреть достаточное удаление компонентов от края платы для выполнения тестирования и процесса сборки. Если это не представляется возможным, конструктор должен предусмотреть дополнительную удаляемую часть платы (т.е. отламываемый выступ). Контур компонента задан как физическая граница компонента по сторонам корпуса, у которого выводы выходят не из корпуса компонента, и граница рисунка контактных площадок по сторонам компонента с выводами, расположенными по сторонам компонента. Предпочтительно компоненты должны располагаться от края платы на расстоянии минимум 1.5 мм, необходимом для установки направляющих или сборочных приспособлений при размещении компонентов, пайке и тестировании.

Компоненты не должны на плате группироваться так, чтобы они затеняли один другой в процессе пайки.

Полярные компоненты должны быть ориентированы согласованно (т.е. в одном направлении) по всей конструкции. Поверхностно-монтируемые чип-компоненты предназначенные для пайки волной должны быть приклеены к печатной плате специальным клеем, предназначенным для этой цели, до автоматизированной пайки.

Определенные требования при компоновке узла обусловлены типом компонентов, выбранной технологией монтажа при сборке печатной платы, требованиями к изгибу выводов компонента, выбранным способом формовки и размещением компонентов (смонтированных над свободными поверхностями без незащищенных цепей, над за-

щищенными поверхностями схемы или над схемой). Дополнительные требования обусловлены тепловыми требованиями (рабочей температурой при эксплуатации, требованиями по взаимосвязи максимальной температуры и рассеиваемой компонентами мощности) и требованиями к механическому креплению (обусловленному массой компонентов).

Методы монтажа компонентов на печатную плату **должны** быть выбраны такими, чтобы законченная сборка соответствовала требованиям при вибрации, механическом ударе, влажности и других условиях внешней среды. Компоненты **должны** быть смонтированы так, чтобы рабочая температура компонента не снижала срок его службы ниже требуемых проектом пределов. Выбранный метод монтажа компонентов **должен** гарантировать, что максимальная допустимая для материала платы температура не превысится в условиях эксплуатации.

8.1.3 Ориентация.

Компоненты должны быть установлены параллельно краям печатной платы. Они должны быть также установлены параллельно или перпендикулярно один к другому для того, чтобы представлять регулярный вид. Соответствующие компоненты должны быть установлены таким образом, чтобы оптимизировать поток охлаждающего воздуха.

Сборки обычно паяются, начиная с верхнего края платы, движущейся перпендикулярно волне припоя, затем паяемой поверхности платы и зажимным приспособлением или пальцами конвейера и, наконец, краевым соединителем платы. Поверхностно-монтируемые компоненты должны быть размещены так, чтобы облегчить их обтекание волной припоя. Прямоугольные компоненты (с лужеными контактами на концах) должны быть ориентированы своей продольной осью параллельно переднему краю платы и перпендикулярно направлению перемещения платы на волну припоя. Этим предотвращается эффект "затенения", когда корпус компонента препятствует свободному обтеканию припоя последующего паяного соединения. См. рис. 8-1.

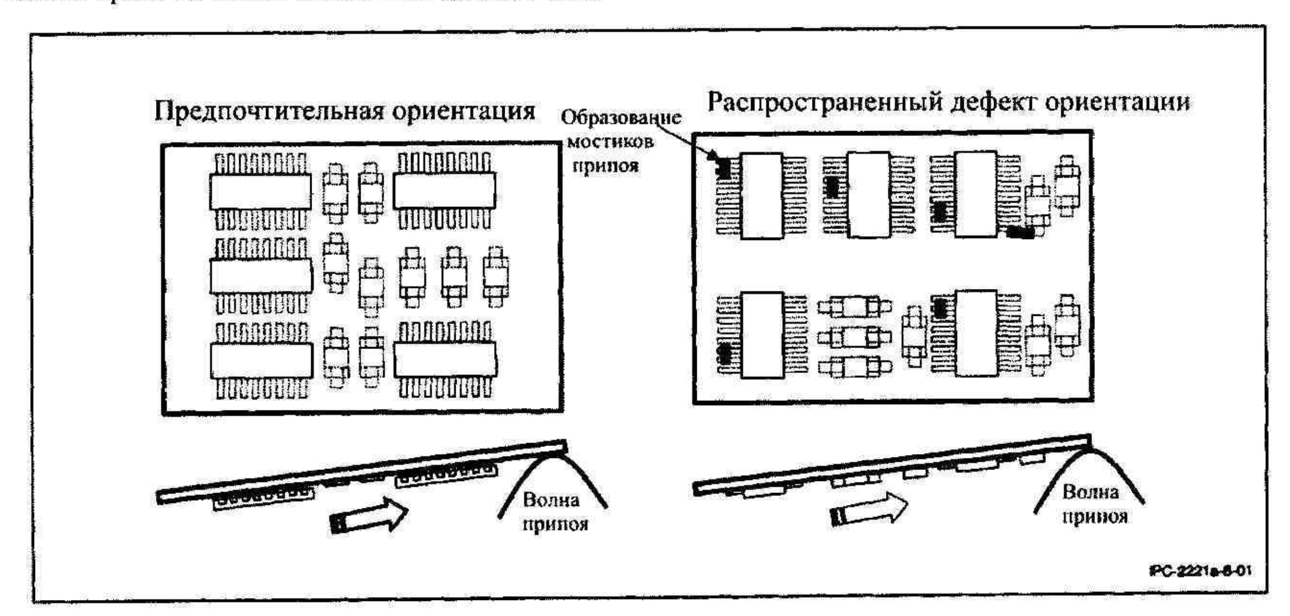


Рис. 8-1 Ориентация компонентов по краям платы при пайке волной припоя

8.1.4 Доступность.

Электронные компоненты должны быть размещены и разнесены так, чтобы контактные площадки для каждого компонента не затенялись любым другим компонентом или любыми другими установленными элементами. Каждый компонент должен свободно демонтироваться из сборки (модуля) без демонтажа любых других соседних компонентов. Эти требования не применяются к сборкам, изготовленным неремонтируемыми (бракуемые сборки) или как указано в 8.2.13.

8.1.5 Очертание конструкции.

Выступание компонента за края печатной платы, за исключением соединителей, не допускается или не должно мешать монтажу платы.

Если другие требования не указаны на сборочном чертеже, то край платы рассматривается как крайний периметр сборки, за пределы которого не выступают компоненты, кроме соединителя, выступание которого за периметр сборки допустимо. Конструктор **должен** задать периметр с должным расчетом максимальных размеров кор-

пуса компонента и указаниями по монтажу, предписанными документацией на печатную плату и сборку модуля.

8.1.6 Центрирование корпуса компонента.

Исключите другие способы центрирования корпуса компонента с осевыми выводами, кроме заданных здесь, (включая концевые уплотнения или места сварок) установленных горизонтально, которые должны располагаться примерно по середине промежутка между монтажными отверстиями, как показано на рис. 8-2.

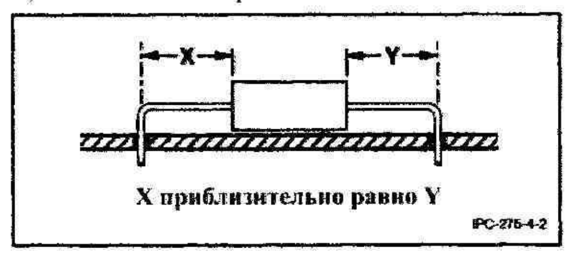


Рис. 8-2 Центрирование корпуса компонента

8.1.7 Монтаж над проводящими участками.

Компоненты с металлическими частями корпуса **должны** монтироваться изолированными от соседних проводящих элементов. Изолирующие материалы должны быть совместимы со схемой и материалом печатной платы.

Проводящие участки под компонентами должны быть защищены от захвата влаги одним из следующих способов.

Нанесением конформного покрытия с использованием материала в соответствии с IPC-CC-830 (обычно указанном на сборочном чертеже).

Нанесением термоотверждаемого покрытия путем использования препрега с низкой текучестью.

Нанесением постоянного полимерного покрытия (паяльной маски) с использованием материала в соответствии с IPC-SM-840.

Это требование применимо для компонентов с или без муфты (трубки), см. рис. 8-3.



Рис. 8-3 Компонент с осевыми выводами, смонтированными над проводниками

8.1.8 Зазоры.

Минимальный зазор между выводами компонента, компонентами в металлических корпусах или любыми другими токопроводящими элементами должен быть равен 0.13 мм. В основном, для открытых (неизолированных) участков должен быть предусмотрен зазор приблизительно 0,75 мм, как показано на рис.8-4, но не меньше значений, представленных в таблице 6-1.

Детали и компоненты должны быть расположены так, чтобы они не препятствовали протеканию припоя на верхние площадки металлизированных сквозных отверстий.

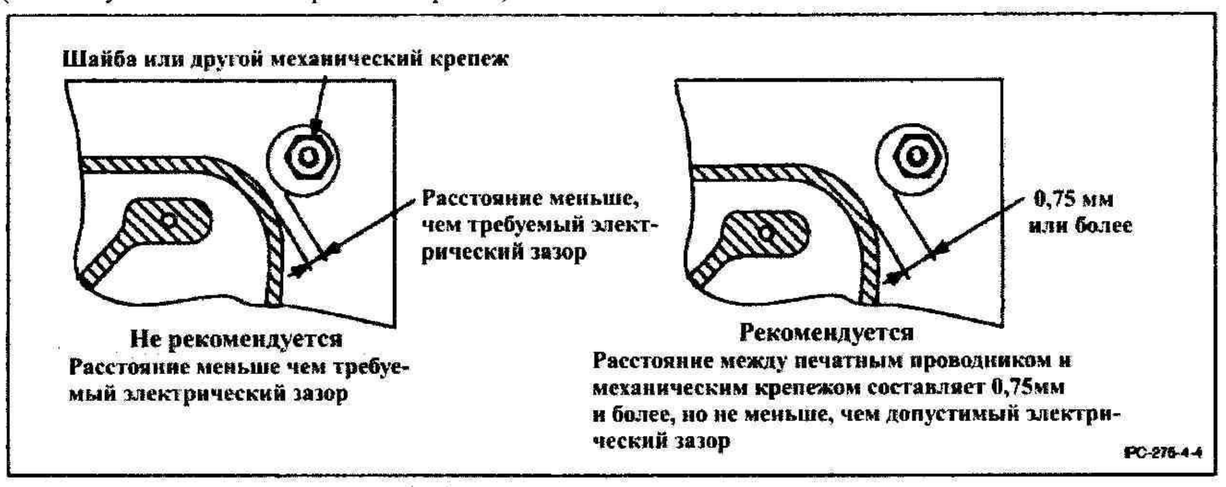


Рис. 8-4 Зазоры незащищенной платы

8.1.9 Физическое крепление

В зависимости от веса и параметров тепловыделения компоненты, весящие менее 5 грамм на вывод и рассеивающие тепла меньше, чем 1 ватт, не фиксируются зажимами или не крепятся иным способом, и должны быть установлены своим корпусом непосредственно на печатную плату, если не указаны иные способы.

8.1.9.1 Способы монтажа компонентов при ударе и вибрации.

При проектировании необходимо учесть, что компоненты с осевыми выводами весом менее, чем 5 грамм на вывод, **должны** устанавливаться своими корпусами непосредственно на плату. Критерии размеров для изгиба выводов и расстояния между выводами **должны** быть заданы в соответствии с рис. 8-9. Компоненты с осевыми выводами, имеющие вес 5 грамм и более на вывод, должны быть прикреплены к плате с помощью монтажных зажимов. Если зажимы непрактичны для использования из-за высокой плотности компоновки, должны быть использованы другие методы, т.к. паяные соединения являются не только средством механического крепления. Эти методы применяются для компонентов весом более 5 грамм, которые должны удовлетворять высоким требованиям по вибрации. (см. 5.2.7 и рисунки 8-5 и 8-6).

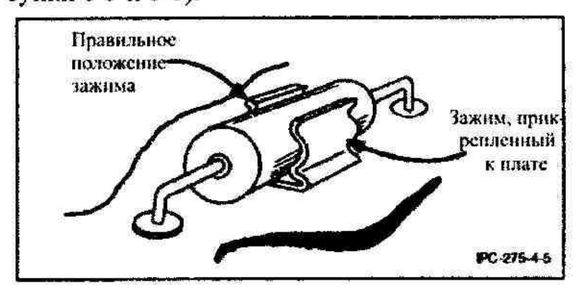


Рис. 8-5 Компонент с осевыми выводами, закрепленный в зажиме

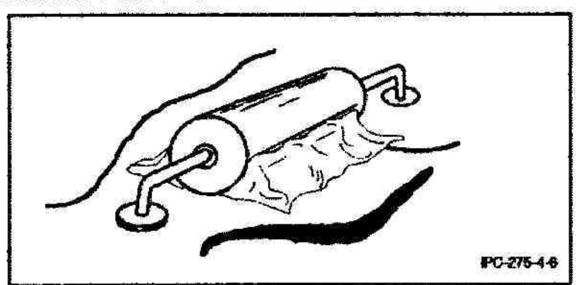


Рис. 8-6 Компонент с осевыми выводами, закрепленный адгезивом

Если чип-компоненты монтируются на краю платы и их вертикальный размер больше, чем размер по толщине, то чип-компоненты не должны применяться в сборках (модулях), подвергаемых высокой вибрации или ударным нагрузкам. Вертикальный монтаж **должен** применяться для:

низко- и высокопрофильных поверхностно-монтируемых компонентов с оплавленными контактными площадками, расположенными на одной базовой поверхности;

устройств с неосевыми выводами, выходящими-ми с двух или более сторон компонента(ов).

устройств с неосевыми выводами, выходящими из одной базовой поверхности.

Для компонентов с радиальными выводами с тремя и более выводами, такими как транзисторы, которые требуют применения прокладок между их основанием и печатной платой для вертикального монтажа, особое внимание следует уделить принятию мер, исключающих движение прокладки при вибрации, что может вызвать повреждение поверхности проводников.

8.1.9.2 Аппаратура класса 3 для высоконадежного применения.

При проектировании необходимо учесть, что свободно стоящие компоненты, весом более 5 грамм на вывод **должны** устанавливаться своей поверхностью основания параллельно поверхности платы (см. рис. 8-7). Компонент **должен** опираться на:

Опоры или выступы, выполненные на корпусе компонента (см. рис. 8-7А и В);

Специально сконфигурированные неупругие опорные выступы устройств (см. Рис. 8-7С);

Отдельные подставки без выступов, которые не блокируют сквозные металлизированные отверстия, не скрывают соединения компонента со стороны платы.

Подставки с опорами и без выступов предназначены для монтажа вплотную к поверхности платы. Выполнение этого требования представлено на рис. 8-7В, где выступающая кнопка рассматривается как опора. Опорные выступы, показанные на рисунках 8-7С и 8-7Д, **должны** иметь минимальную высоту 0.25 мм. При использовании устройств в виде отдельных подставок с выступами или оснований без выступов и установке компонента поверхностью основания параллельно поверхности платы, монтаж должен быть таким, чтобы основание компонента находилось в контакте с плоскостью подставки с выступами или без выступов. Монтаж должен быть таким, чтобы выступы подставки полностью соприкасались с поверхностью печатной платы. Подставки **не должны** быть перевернуты, наклонены или опрокинуты и не должны располагаться так, чтобы какой-либо выступ (или поверхность основания) не соприкасался с платой. Компоненты **не должны** быть наклонены, опрокинуты или отде-

лены от сопрягаемой поверхности упругой подставки.

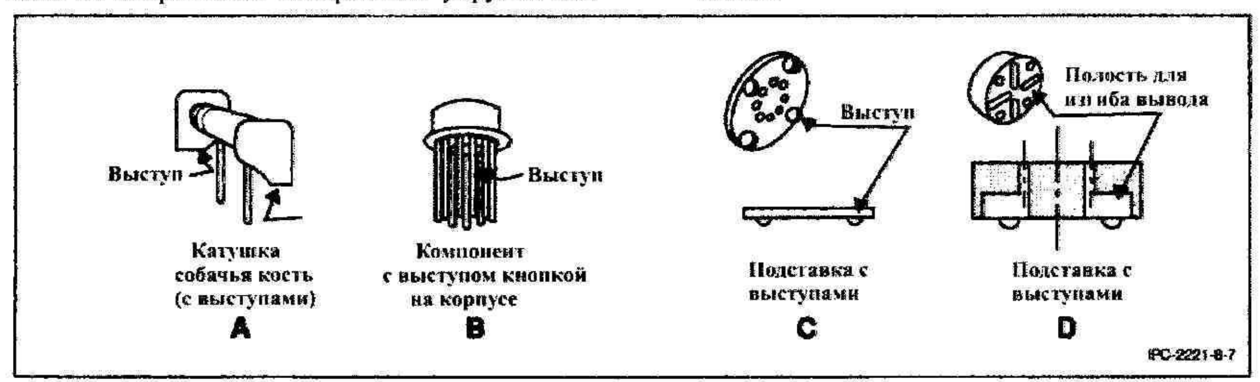


Рис. 8-7 Монтаж с выступами или подставками

8.1.10 Рассеяние тепла.

Для рассеяния тепла компонентами конструкция сборки должна обеспечить такие условия, чтобы не была превышена максимальная допустимая температура материала платы и компонента при эксплуатации. Рассеяние тепла может быть осуществлено за счет требуемого зазора между платой и компонентом, использованием зажима или теплопроводной монтажной пластины или соединением компонента с тепловой шиной с помощью совместимого теплопроводного материала (см. рис. 8-8 в качестве примера).

Любое техническое решение для рассеяния тепла или устройство **должно** позволять соответствующую очистку для удаления загрязнений со сборки (модуля). Теплопроводные материалы, используемые для передачи тепла между компонентами и теплоотводом, **должны** быть совместимы с процессами сборки и очистки.

Компоненты сборок (модулей) класса 3, которые по тепловым причинам требуют обширного поверхностного контакта с платой или с теплоотводом, установленным на плате, **должны** быть защищены от технологических растворов, воздействующих на теплопроводную поверхность раздела.

Для предотвращения риска захвата растворов, для герметизации поверхности раздела от попадания коррозионных и проводящих загрязнений **должны** быть указаны совместимые материалы и ее способы.

Примечание: Полностью неметаллические поверхности раздела, склонные к захвату жидкостей, могут оказывать неблагоприятные воздействия на возможность изготовителей пройти требуемый контроль изделий на чистоту отмывки.

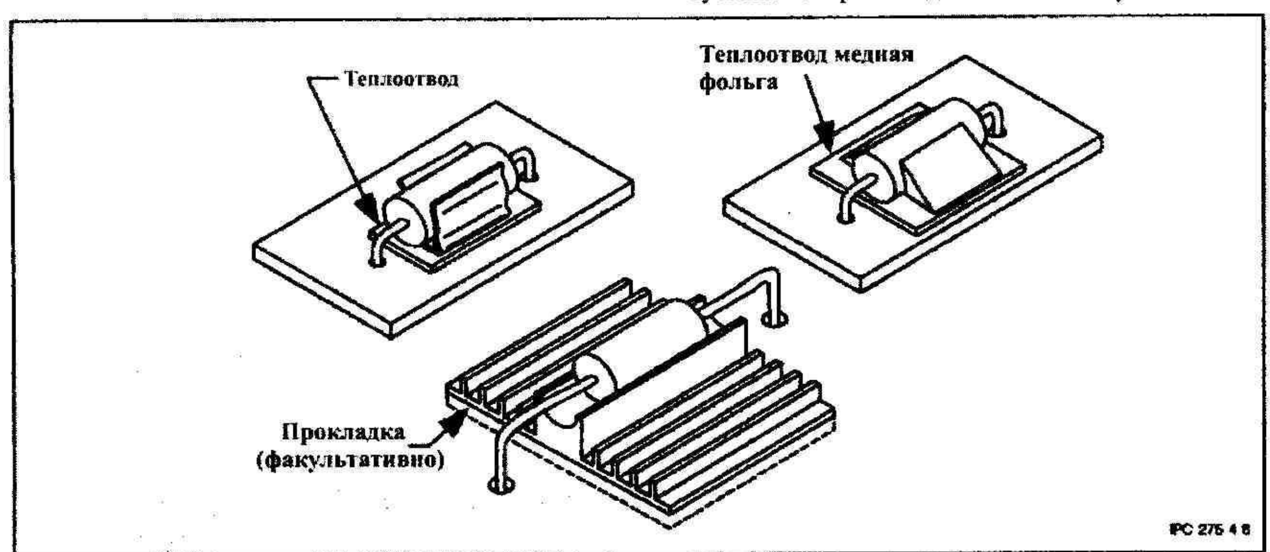
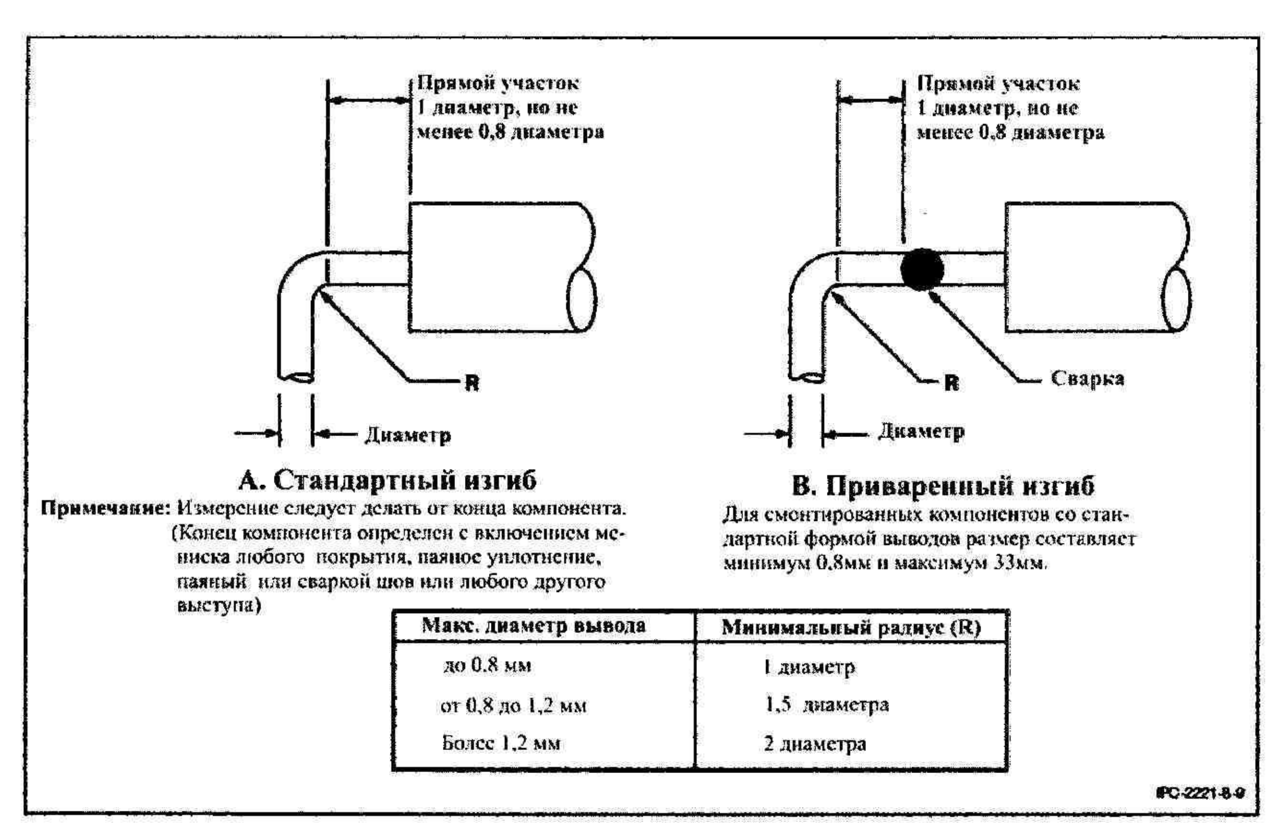


Рис. 8-8 Примеры рассеяния тепла



Макс. диаметр вывода	Минимальный радиус (R)
до 0,8 мм	1 диаметр
от 0,8 до 1,2 мм	1,5 диаметра
Более 1,2 мм	2 диаметра

Рис. 8-9 Изгибы вывода

8.1.11 Разгрузка механических напряжений.

Если предусмотрено снятие напряжений, то контактные площадки и контакты должны быть расположены так, чтобы компоненты могли быть смонтированы или изгибы их выводов могли быть выполнены таким способом, чтобы они не могли подвергать перенапряжению границу раздела вывода с компонентом в условиях воздействия ожидаемых температур, вибрации и удара. Если радиус изгиба вывода не может быть выполнен в соответствии с требованиями рис. 8-9, то для достижения проектных задач изгибы выводов **должны** быть детально представлены на сборочном чертеже.

Выводы компонентов, установленных своими корпусами горизонтально вплотную к печатной плате, **должны** быть смонтированы способом, который гарантирует, что разгрузка напряжения не уменьшится или не сведется на нет галтелью припоя в изгибах вывода.

Выводы **не должны** формоваться у корпуса компонента или между корпусом компонента и местом сварки вывода. Вывод компонента, выходящий из места уплотнения в корпусе, или сварной вывод до начала радиуса изгиба **должен** быть прямолинейным, как показано на рис.8-9.

Требования, представленные на рис. 8-9 и 8-10, должны быть выполнены для предотвращения возможного повреждения компонента, особенно компонентов в стеклянных корпусах. При выборе конфигурации вывода следует учитывать возможности оснастки. Для компонентов, которые не устанавливаются непосредственно на плату, рекомендуется использовать прокладки под корпуса компонентов.

Компоненты в DIP корпусах, установленные непосредственно на теплоотводящие рамки, как описано в 8.1.10, могут включать средства разгрузки от механических напряжений.

Приемлемым методом для разгрузки механических напряжений является включение между теплоотводящей рамкой и печатной платой прокладки из податливого материала достаточной толщины (обычно 0,2 мм) для компенсации усилий, обусловленных изменением температуры. Многие гибкие прокладочные материала могут иметь низкую температуру стеклования Tg и высокие параметры КТР, передавая больше напряжений, чем при отсутствии прокладки вообще.

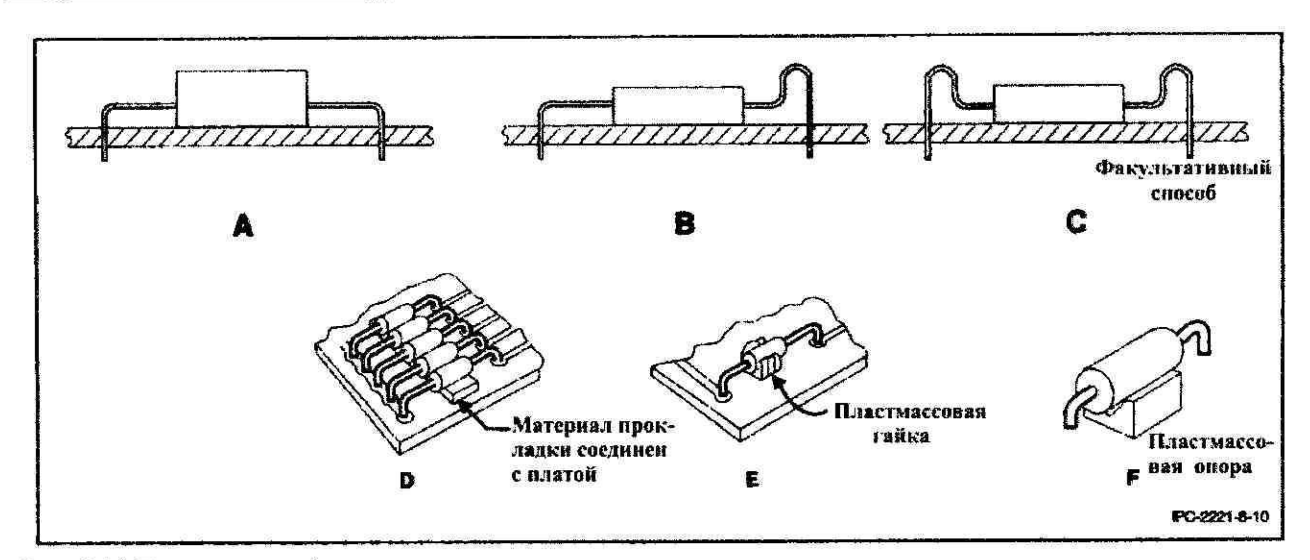


Рис. 8-10 Типичные конфигурации выводов

8.2 Основные требования к соединению.

8.2.1 Монтаж в сквозные отверстия.

Для автоматической сборки плат с компонентами, выводы которых монтируются в отверстия платы, должен быть сделан специальный расчет для обеспечения допустимых зазоров при вставке выводов компонентов в отверстие и их фиксации. См. рис. 7-1, 8.3.1 и IPC-CM-770.

8.2.2 Поверхностный монтаж.

Конструктивные ограничения **должны** задавать соответствующие допуски (зазоры) на местоположение компонентов для автоматического монтажного оборудования, их правильной ориентации и допускать достаточные зазоры для монтажных головок автомата-установщика компонентов (см. IPC-SM-780). Зазоры должны быть предусмотрены для обеспечения возможности контроля паяных соединений (см. IPC-SM-782).

8.2.3 Сборки со смешанным монтажом.

Параметры конструкции для автоматических процессов, используемые как для поверхностно-монтируемых компонентов, так и для компонентов с выводами, устанавливаемых в отверстия, требуют специального рассмотрения конструкции для того, чтобы компоненты, собранные на первом этапе сборки, не создавали препятствий монтажным головкам автоматов на втором этапе.

При размещении компонентов должны учитываться механические усилия, которые прикладываются к плате монтажным оборудованием, за счет размещения по возможности компонентов на определенных участках с тем, чтобы на втором этапе усилия монтажа/размещения не воздействовали на раннее выполненные паяные соединения.

8.2.4 Рассмотрение вопросов пайки.

Конструктор должен быть уверен, что применяемые компоненты способны выдерживать температуру пайки, используемую в процессах сборки. Хотя компоненты подвергаются этим температурам в относительно короткий период времени, температура корпусов компонентов остается близкой к температуре пайки в течение более продолжительного периода времени. Поэтому выбор компонентов осуществляется с учетом следующих типичных условий проведения технологических процессов:

Пайка волной (260°C в течение 1 мин.)

Пайка поверхностно-монтируемых компонентов в паровой фазе (216°C в течение 4 мин.)

Поверхностно-монтируемые компоненты в других процессах (225°C в течение 1 мин.)

Если проект ограничивает официальное разрешение на монтаж компонентов, неспособных противостоять температурам пайки, то такие компоненты **должны** быть смонтированы в модуле и запаяны вручную (в качестве отдельной операции) или должны быть подвергнуты обработке с использованием технологического процесса локального оплавления.

Поверхностно-монтируемые компоненты, устанавливаемые на обратную сторону печатной платы сборки (модуля) и предназначенные для пайки волной, должны выдерживать погружение в расплав припоя при 260°C в течение 5 сек. Кроме того, предварительный нагрев ограничен чувствительностью основания платы, нагретой до 120°C, к термоудару, который возникает, когда компоненты входят в волну припоя.

8.2.5 Соединители и межсоединения.

Одним из главных преимуществ применения модулей на печатных платах, в противоположность

другим типам монтажа компонентов и способов межсоединений, является их способность обеспечить удобство обслуживания. Соединители служат для обеспечения желаемой механической/электрической связи между модулями на печатных платах или между модулем и отдельным проводным межсоединением (жгутом).

Габариты и вес платы являются важными факторами при выборе крепежа соединителя и принятии решения о том, будет ли плата монтироваться горизонтально или вертикально. В распространенной практике соединитель устанавливается на материнской плате или на плате блоков или стоек, затем в соединитель вставляется плата с установленными компонентами (модуль), для чего используются соответствующие направляющие и устройства крепления. В основном, если сборка (модуль) подвергается значительной вибрации, то плата должна быть скреплена с соединителем или закреплена другими механическими средствами для обеспечения механического сочленения.

Соединители могут быть смонтированы на печатной плате пайкой, сваркой, обжатием, запрессовкой и другими способами. Выводы могут проходить через отверстия платы или контакт может быть выполнен на контактных площадках, расположенных на плате. Отверстия в плате могут быть металлизированными или просто просверлены.

Точный метод будет зависеть от конструкции соединителя.

8.2.5.1 Одиночные соединители. Одиночные соединители представляют собой штепсельные розетки и предназначены для связи между печатной платой с краевым соединителем и его окружающей средой.

При низких уровнях сигнала, повторяющейся стыковке или неблагоприятных внешних условиях контакты должны быть покрыты золотом. Для однозначного основания сочленения торцевого соединителя печатной платы с ответным соединителем, на контактном поле торцевого соединителя платы должен быть предусмотрен ключ (см. рис. 8-13).

8.2.5.2 Двухрядные соединители. Рядные соединители могут быть смонтированы с полным соприкосновением (вплотную) с печатной платой. Соединители, монтируемые вплотную к печатной плате, должны быть конструктивно такими, чтобы обеспечить снижение механических напряжений в корпусе соединителя и иметь полости (видимые или скрытые), которые предотвращают блокировку металлизированных отверстий.

8.2.5.3 Торцевые соединители печатных плат.

Торцевые соединители используют один край печатной платы, как диэлектрическую вилку с печатными металлизированными проводниками в качестве штыревых контактов. Максимальный размер ширины края (выступа) печатной платы, который сочленяется с одиночным соединителем ("T" на рис. 8-11), не должен быть больше минимальной величины прохода одиночного соединителя (см. 5.4.3 для информации о рисунке печатного соединителя). Кроме того, для облегчения сочленения и предотвращения нежелательного износа или повреждения платы необходимо предусмотреть специальную обработку выступа платы для аккомодации сопрягаемых концевых контактов платы с одиночным соединителем. Эта обработка включает скашивание направляющего края и углов выступа платы (см. рис. 8-12). Различные формы выступа, показанные на рис. 8-12, допускают возможность выполнения как соединения, так и разрыва (размыкания) цепей одних перед другими. Например, подачу питания до выполнения сигнальных соединений.

Для правильного сочленения платы с соединителем на контактном поле концевых контактов платы должен быть предусмотрен ключ в виде прорези в плате (см. рис. 8-13).

При низких уровнях сигнала, повторяющейся стыковке или неблагоприятных внешних условиях контакты должны быть покрыты золотом.

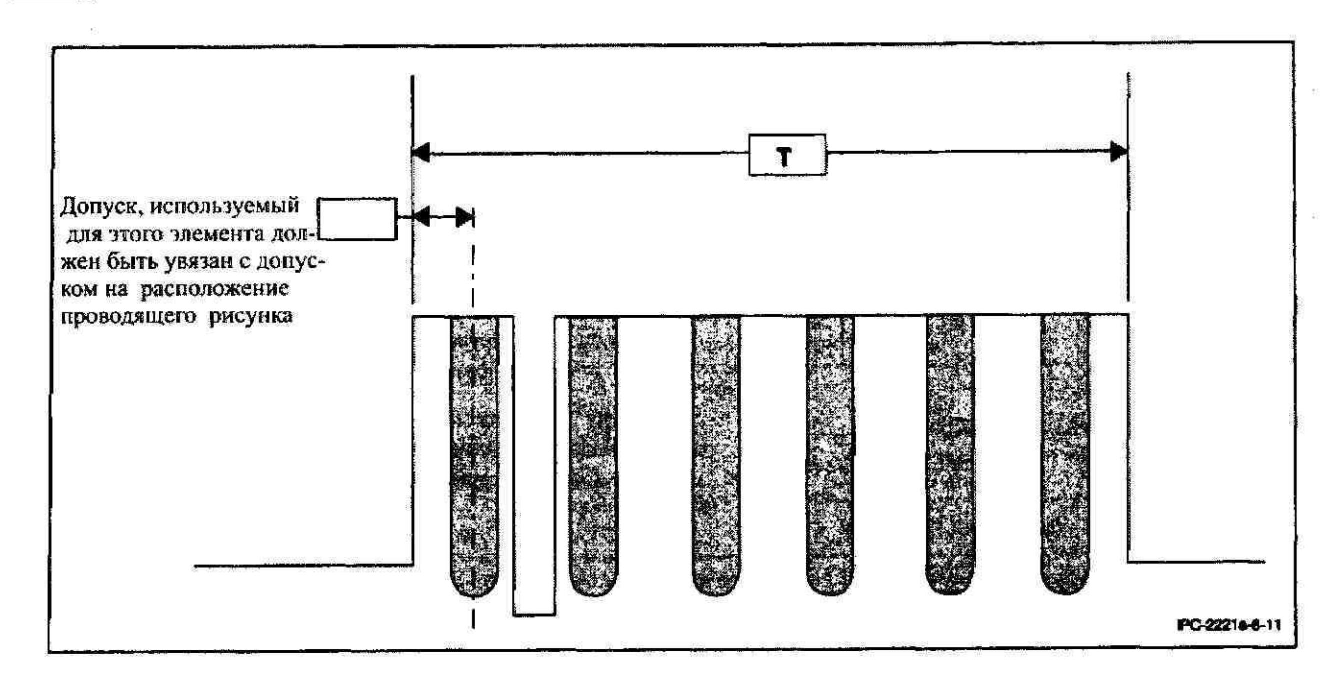


Рис. 8-11 Проставление допусков для края платы

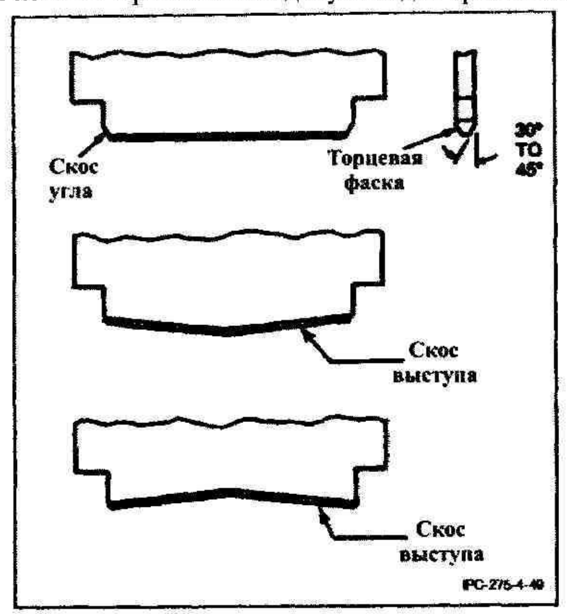


Рис. 8-12 Формы направляющих скосов

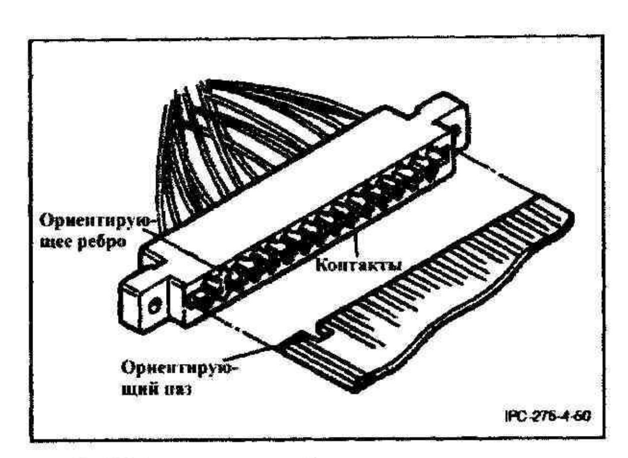


Рис. 8-13 Типовое устройство ключа

8.2.5.4 Парные контактные соединители Парные многоконтактные соединители состоят из самостоятельных многоконтактных штыревой и розеточной частей. Обычно, хотя и не всегда, розеточная часть является неподвижной частью соединителя, которая монтируется к кросс-плате (материнской плате) или шасси (см. рис. 8-14). Каждая половина соединителя может иметь штыревые или розеточные контакты. Для безопасности розетка обычно содержит контакты-гнезда электропитания.

8.2.5.5 Парные соединители с дискретным контактами. Парные соединители с дискретными контактами состоят из индивидуальных штыревых и гнездных контактов, смонтированных непосредственно на печатной плате, обычно без опрессованных диэлектрических элементов.

8.2.5.6 Торцевые адаптерные соединители для печатных плат. Торцевые адаптерные соединители для печатных плат могут использоваться вместо печатных/золоченых проводников в качестве штыревых контактов (см. рис. 8-15). Эти соединители исключают многие проблемы, связанные с торцевыми печатными соединителями, такими как изменение толщины печатной платы и коробление платы. Применение адаптерных соединителей не требует специальной обработки печатной платы, т.е. золочения контактов или скашивания выступа на печатной плате.

Важно быть уверенным, что метод монтажа обеспечивает достаточную прочность, чтобы противостоять усилиям сочленения и расстыковки.

Когда одна часть соединителя смонтирована методом запрессовки на печатной плате задней панели (кросс-плате), то кросс-плата должна быть спроектирована в соответствии с указаниями IPC-D-422.

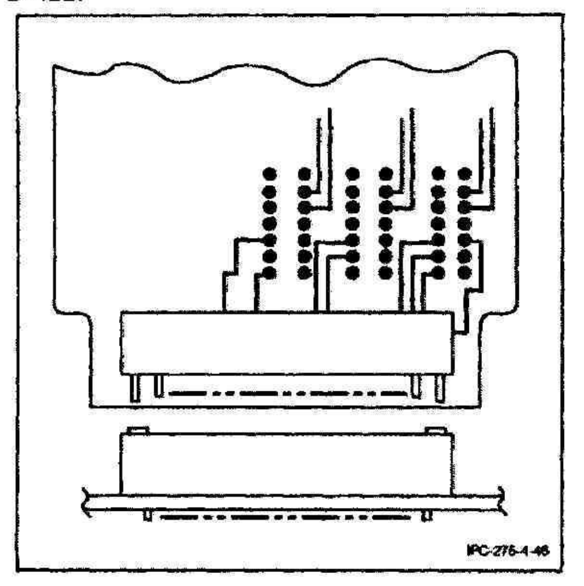


Рис. 8-14 Парный соединитель

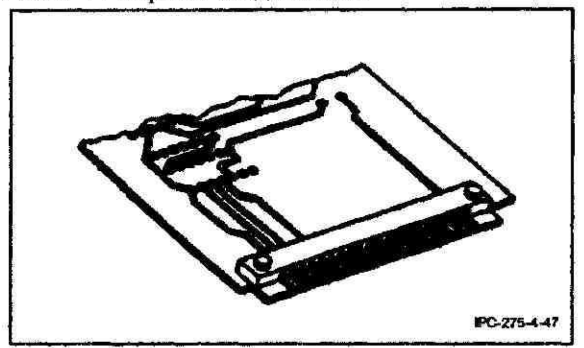


Рис. 8-15 Торцевой адаптерный соединитель для печатной платы

8.2.6 Крепежная арматура.

Местоположение и ориентация крепежной арматуры должны быть указаны на сборочном чертеже для таких элементов как заклепки, винты, шайбы, прокладки, гайки и держатели. В технических требованиях и предупреждениях должны быть указаны усилия затяжки, чтобы исключить неадекватную или небрежную сборку конструкции или ее функционирования. Применение крепежной арматуры должно удовлетворять требованиям этого раздела к электрическому зазору.

8.2.7 Усилители жесткости.

Усилители жесткости встроены в печатную плату для обеспечения жесткости сборки (модуля) и предотвращения изгиба схемы, который может вызвать образование трещин в припое и медной фольге под действием механических напряжений. Усилители жесткости могут быть изготовлены из алюминия, стали, имеющих соответствующее защитное покрытие, армированных пластических или волокнистых материалов. Усилители жесткости могут прикрепляться к плате пайкой или с помощью крепежа (заклепок, гаек и болтов). Если усилители жесткости припаиваются к плате с использованием процессов оплавления припоя, то плата обычно должна быть закреплена в плоскости приспособлений для оплавления припоя.

Соответствующие физический и электрический зазор должен быть обеспечен между усилителями жесткости, проводниками и компонентами. Там, где соответствующий зазор в схеме не может быть обеспечен, должны использоваться волокнистые или пластмассовые изоляторы.

При изготовлении печатных плат больших размеров иногда наблюдается изгиб и скручивание платы. Их величина может обычно регулироваться за счет сбалансированного распределения металлических слоев в многослойных печатных платах и контролем процесса изготовления. Однако экспериментально доказано, что снижение степени изгиба больших неметаллизированных плат, особенно при пайке оплавлением в процессе сборки, можно гарантировать при использовании специального усилителя жесткости.

При проектировании для определения механических характеристик материала, применяемого для усиления жесткости, может использоваться следующее выражение:

$$E=\frac{E^{1}h^{3}}{I}\frac{Wo(a+5)}{300Z}$$

E = модуль Юнга материала усилителя жесткости (фунт/дюйм^2)

I = момент инерции (фунт/дюйм^2)

E^1 = модуль упругости материала основания печатной платы при сгибе (фунт/дюйм^2)

h = толщина печатной платы (дюйм)

Wo = исходное отклонение печатной платы из-за изгиба (дюйм)

a = размер печатной платы в направлении изгиба (дюйм)

Z = допустимое отклонение печатной платы после введения элемента жесткости (дюйм)

Для неметаллизированных печатных плат (обычно со стороной больше 230 мм, измеренной на стороне соединителя печатной платы) должно быть предусмотрено введение дополнительных элементов жесткости. Для правильного контактирования соединителя печатной платы, элемент жесткости должен примыкать к соединителю печатной платы.

8.2.8 Контактные площадки для расплющенных круглых выводов.

Расплющенные (расчеканенные) круглые выводы должны иметь контактные площадки, которые обеспечат расположение пятки и конца вывода в соответствии с рис. 8-16. Вывод и размер контактной площадки должны быть спроектированы так, чтобы иметь минимальное боковое свисание вывода. (Для изделия класса 3 при изготовлении допускается свисание до ¼ диаметра вывода).

Производственный допуск на выступание торца вывода за пределы контактной площадки считается приемлемым, если он не нарушает минимального расчетного расстояния между проводниками. Если применяются расплющенные выводы, то толщина расплющивания не должна быть менее 40% исходного диаметра вывода (см. J-STD-001).

8.2.9 Паяемые контакты.

Паяемые контакты в виде одинарных /сдвоенных концевиков или одинарных/многосекционных "башенок" могут применяться для облегчения монтажа компонентов, проволочных перемычек, входного/выходного электромонтажа и т.д. Провода или выводы компонентов **должны** быть припаяны к столбикам паяных контактов.

Лепестки и паяные контакты должны соответствовать компонентам и должны быть указаны (заданы) в сборочном чертеже модуля или подсборки.

8.2.9.1 Механически закрепленный контакт. Паяемые контакты, которые не соединены с проводящим рисунком или медными поверхностями, **должны** иметь развальцованный фланец (см. рис. 8-17А).

8.2.9.2 Электромонтажный контакт.

Для печатных плат или сборок на печатных платах (модулей) паяемые контакты **должны** иметь конструкцию с буртиком, показанную на рис. 8-17В. Контакт **должен** быть приблизительно перпендикулярным к поверхности платы и может свободно вращаться. Плоскость буртика **должна** быть установлена на материал основания печатной платы, а не на заземляющие поверхности или контактные площадки. Развальцованная отбортовка **должна** быть сформирована в пределах угла от 35 до 120° и должна выступать над поверхностью контактной площадки в пределах 0.4-1.5 мм, обеспечивая соблюдение требований к минимальному электрическому зазору (см. рис.8-17В), при этом диаметр развальцовки не должен превышать диаметр контактной площадки.

Контакты должны монтироваться только в неметаллизированные отверстия или в металлизированные отверстия плат типа 2 на нефункциональные контактные площадки со стороны размещения компонентов (см. рис. 8-17В). Если существенно, что контакт применяется для интерфейсной связи на платах типа 3-6, то используют конструкцию сдвоенного отверстия, включающего металлизированное отверстие, которое **должно** соединяться с отверстием с контактной площадкой на стороне пайки (волной) печатной платы (см. рис. 8-18).

8.2.9.3 Присоединение проводов/выводов к контактам.

В случаях, когда более, чем один провод присоединяется к контакту, то провод наибольшего диаметра должен быть смонтирован на нижнюю часть стойки-контакта для облегчения доработки и ремонта.

На каждую секцию раздвоенного контакта-стойки должно быть смонтировано не более, чем три соединения. Как исключение, специально сконструированная контактная шина может иметь более, чем три соединения провода или выводов на секцию (более подробную информацию см. в частных стандартах).

8.2.10 Лепестки.

Требования при использовании лепестков на печатных платах аналогичны требованиям для паяных контактов.

Условия по их применению должны быть указаны в сборочном чертеже.

Интерфейсные соединения не должны выполняться с лепестками. Лепестки, установленные на электрически функциональную контактную площадку, должны иметь развальцованный фланец.

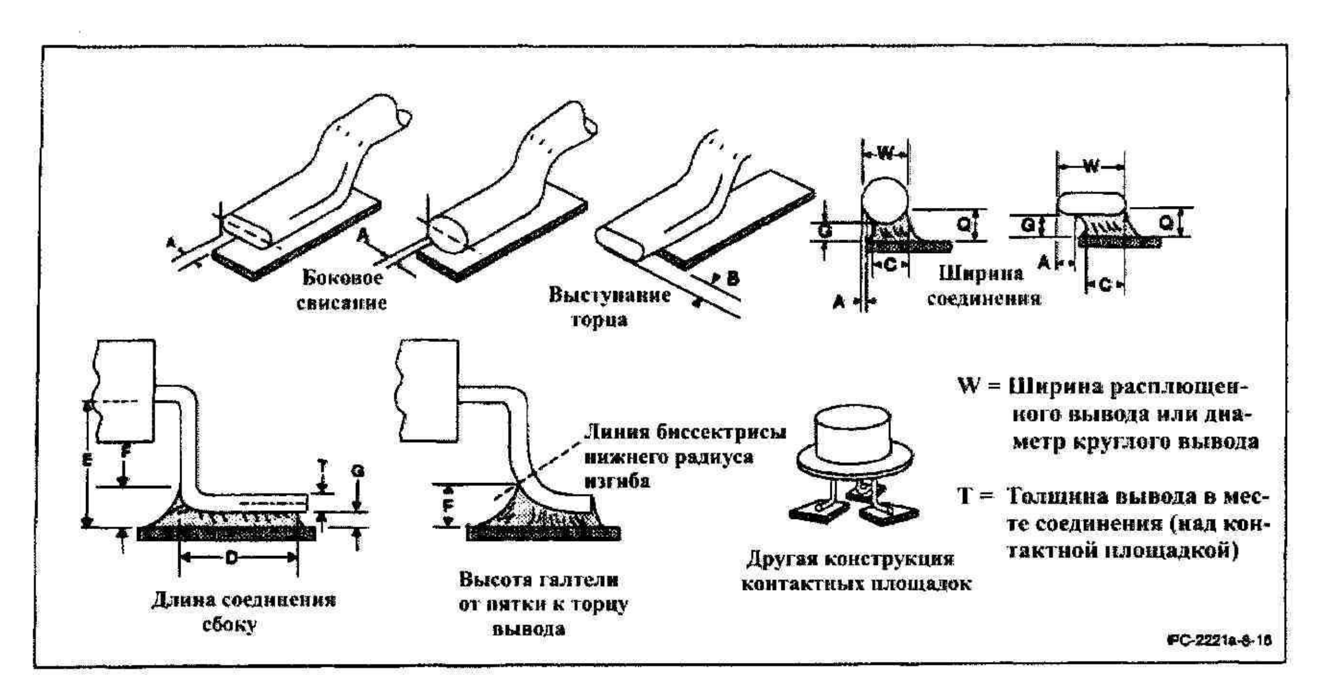


Рис. 8-16 Характеристика соединения круглого или расплющенного вывода

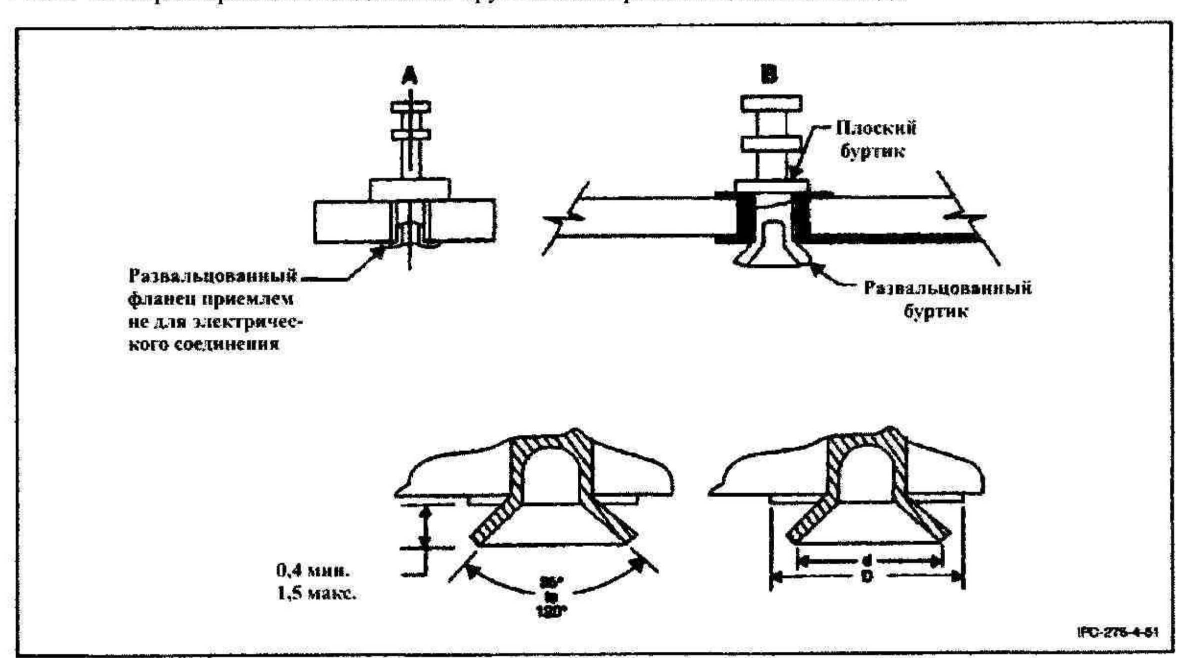


Рис. 8-17 Монтажный контакт, мм

8.2.11 Специальные соединения.

8.2.11.1 Проводные перемычки.

Иногда может возникнуть необходимость включить проводное соединение от точки к точке на печатной плате как элемент конструкции. Такое соединение **должно** рассматриваться не как часть печатной платы, а как элемент процесса сборки платы, т.е. как компонент. Следовательно, применение проводных перемычек **должно** быть указано на сборочном чертеже модуля (сборке на печатной плате).

Проводные перемычки **должны** заканчиваться в отверстиях, на контактных площадках или на контактах. Проводные перемычки **не должны** располагаться над или под другими заменяемыми компонентами (включая неизолированные проволочные соединения).

Проводные перемычки **должны** быть постоянно зафиксированы на печатной плате с интервалом, не превышающим 25 мм. Проволочные перемыч-

ки длиной менее 25 мм, которые не проходят над проводящими участками и не нарушают требуемого электрического зазора, могут быть неизолированными. Изоляция, которая требуется на проволочных перемычках, **должна** быть совместима с используемыми конформными покрытиями. При использовании негерметичной изоляции проволоки следует учитывать процесс очистки модуля.

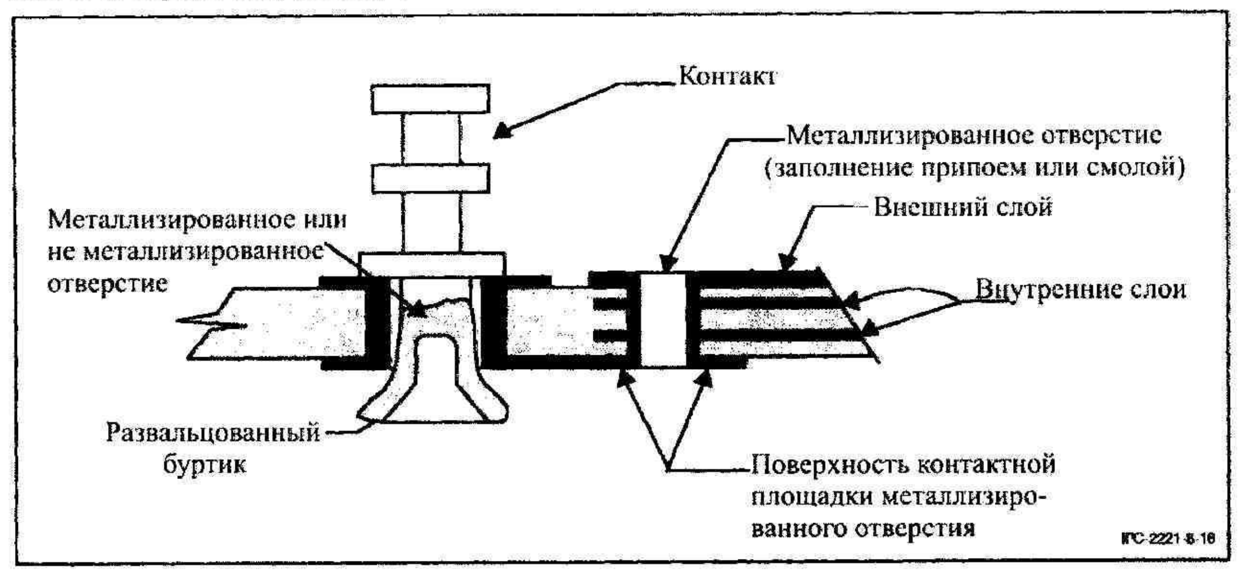


Рис. 8-18 Конструкция сдвоенного отверстия для соединения контакта с наружными и внутренними слоями платы

8.2.11.2 Виды соединений

Проволочные перемычки (джамперы) от точки к точке обычно бывают следующих видов:

- Неизолированная шина без применения изоляционных трубок или другой изоляции, которая состоит из одножильного провода и имеет поперечное сечение, соответствующее электрическим требованиям схемы.
- Проводная шина, которая состоит из одножильного неизолированного провода (см. выше) и которая покрыта изоляционной трубкой.
- Изолированная проводная шина, которая состоит из одножильного покупного провода со своей изоляцией, например лаковым покрытием.
- Изолированный скрученный провод, который состоит из многожильного покупного провода с изоляционным материалом, например, полимерным покрытием.

8.2.11.3 Применение

Конструктор должен гарантировать, что использование перемычек будет выполняться по следующим правилам:

- Неизолированные провода не должны быть длиннее 25 мм.
- Неизолированные провода **не должны** проходить над проводниками платы.
- Радиусы изгиба проволочных перемычек должны соответствовать требованиям к радиусам изгиба стандартных компонентов (см. 8.1.11).
- Для прокладывания перемычки должен использоваться наикратчайший путь трассировки по осям Х-У, если конструкцией платы не продиктованы другие варианты.

Изолирующая трубка **должна** быть соответствующий длины для того, чтобы гарантировать, что ее скольжение к любому концу проводной перемычки не приведет к образованию зазора между изоляцией и паяным соединением или изгибом проволоки, который нарушает требования к минимальному электрическому зазору. Кроме того, выбранные изолирующие трубки должны выдерживать технологические воздействия операции пайки проволочной перемычки или печатной платы.

8.2.12 Термоусаживаемые элементы.

Термоусаживаемые при пайке элементы обычно используются для оконцевания экранов на кабелях. Эти элементы составлены из кольца припоя, заключенного в паяемый трубчатый изолятор. Элементы размещаются поверх концов кабеля, которые должны быть запаяны, и нагреваются горячим воздухом. Тепло расплавляет припой для образования соединения и одновременно заделывает соединение в изоляцию. Термоусаживаемые элементы могут быть самоуплотняющимися и могут обволакивать целиком паяное соединение.

Паяемые трубки составляют оригинальный класс элементов, поскольку они образуют часть конструкции, но, тем не менее, не являются неотъемлемой частью печатных монтажных плат.

8.2.13 Электрическая шина.

Электрические шины обычно бывают в виде заранее изготовленных элементов, которые являются частью сборки на печатной плате и в большинстве случаев выполняют функцию, распределения питания и "земли" по поверхности платы. Их применение изначально служило для минимизации использования печатных схем для разводки питания и земли и /или для обеспечения порядка размещения питания и земли, затратно-неэффективного при использовании печатной платы.

Количество уровней проводников в электрической шине, тип и количество их контактов (входов/выходов), размер и финишная поверхность их проводников и диэлектрическая прочность их изоляции зависят от применения.

Однако эти параметры должны быть четко определены в поставочной документации на электрические шины. По возможности, их соединение с печатной платой должно осуществляться в сквозных металлизированных отверстиях в соответствии с требованиями к стандартному соотношению размера вывода с диаметром отверстия и к изгибу вывода (см. 8.1.11). Кроме того, для оптимальной эффективности конструкции платы, контакты электрической шины должны соединяться с платой по единообразному рисунку контактов, с использованием тех же отверстий, что и для интегральной схемы, и могут быть размещены под интегральной схемой.

8.2.14 Гибкий кабель.

Если конструкция включает гибкий кабель, который становится частью печатной платы, контакты **должны** быть выполнены таким образом, чтобы не вызывать чрезмерного механического напряжения в месте соединения кабель/печатная плата.

Иногда для такого межсоединения используют штыри, которые проходят через плату и гибкий кабель для обеспечения требуемого соединения. В других случаях гибкий кабель может быть припаян непосредственно на поверхность контактных площадок печатной платы или быть неотъемлемой частью печатной платы для жестко-гибких печатных плат. Соответствующее механическое крепление, применение прижимных планок или клеев **должно** предотвратить механическую нагрузку на паяные соединения.

8.3 Требования к сквозным металлизированным отверстиям.

Для автоматической сборки плат с компонентами, выводы которых проходят через отверстие платы, должен быть сделан анализ по обеспечению допустимых зазоров для вставления и фиксации выводов компонентов. См. 8.3.1-8.3.1.5 и подробную информацию в IPC-CM-770.

8.3.1 Выводы, монтируемые в сквозные отверстия.

Способы присоединения элементов, выбираемые из приведенных в данном документе, должны указываться в сборочном чертеже. Требования к соотношениям вывод/отверстие детализированы в 9.2.3-.9.3. Выводы компонентов, проводные перемычки (соединения) и другие выводы должны быть смонтированы так, чтобы только один вывод находился в любом одном отверстии, за исключением указанных в 8.2.13. Выводы компонентов в неметаллизированных отверстиях **должны** выступать над поверхностью покрытия или фольги минимум на 0,50 мм и максимум на 1,5 мм. Вывод компонента в металлизированном отверстии, как минимум, **должен** быть различим в выполненном паяном соединении. Вывод не должен выступать более чем на 1,5 мм над поверхностью печатной платы, и не должен нарушать требований к минимальному электрическому зазору.

8.3.1.1 Прямые выводы, смонтированные в сквозные отверстия. Прямые выводы соединителей или других устройств с закаленными выводами могут выступать на величину от 0,25 до 2,0 мм при отсутствии электрических или механических препятствий.

8.3.1.2 Незагнутые выводы. Незагнутые концы выводов, прямые или частично изогнутые для удержания (фиксации) компонента, **должны** быть запаяны в отверстия или лепестки (пистоны) в соответствии с J-STD-001 (смотри IPC-CM-770).

8.3.1.3 Загнутые выводы. Если требуется максимальная механическая фиксация вывода или контакта, вывод или контакт **должен** быть загнут. Отверстия для монтажа компонента могут быть металлизированными, неметаллизированными или содержать пистон. Требования к изгибу вывода должны быть определены сборочным чертежом. Конец вывода **не должен** выступать за край контактной площадки или электрически связанный с площадкой проводящий рисунок, если это нарушает требования к минимальному электрическому зазору.

Частичный изгиб выводов для фиксации компонента должен соответствовать требованиям 8.3.1.4 (см. рис. 8-19).

Подогнутые выводы не применимы для закаленных штырей или выводов диаметром более 1,3 мм.

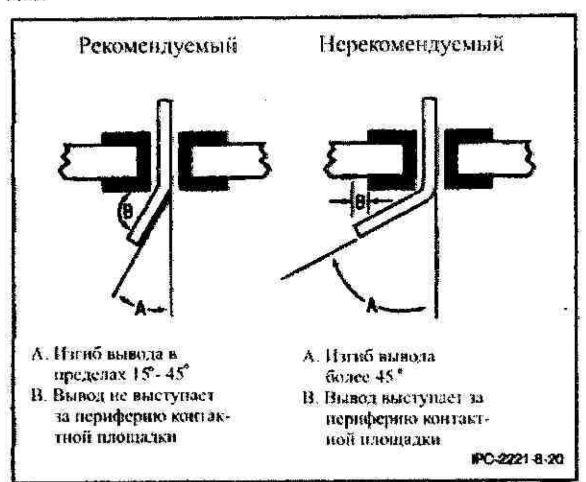


Рис.8-19 Частично подогнутые концы выводов в отверстии

8.3.1.4 Частично подогнутые выводы. Частично подогнутые выводы обычно имеют изгиб в пределах 15-45^0, измеренный от вертикальной линии перпендикулярной к плате. Частичный подгиб концов выводов **не должен** использоваться для компонентов, устанавливаемых вручную, за исключением диагонально противоположных угловых выводов компонентов типа DIP (см. рис. 8-20).

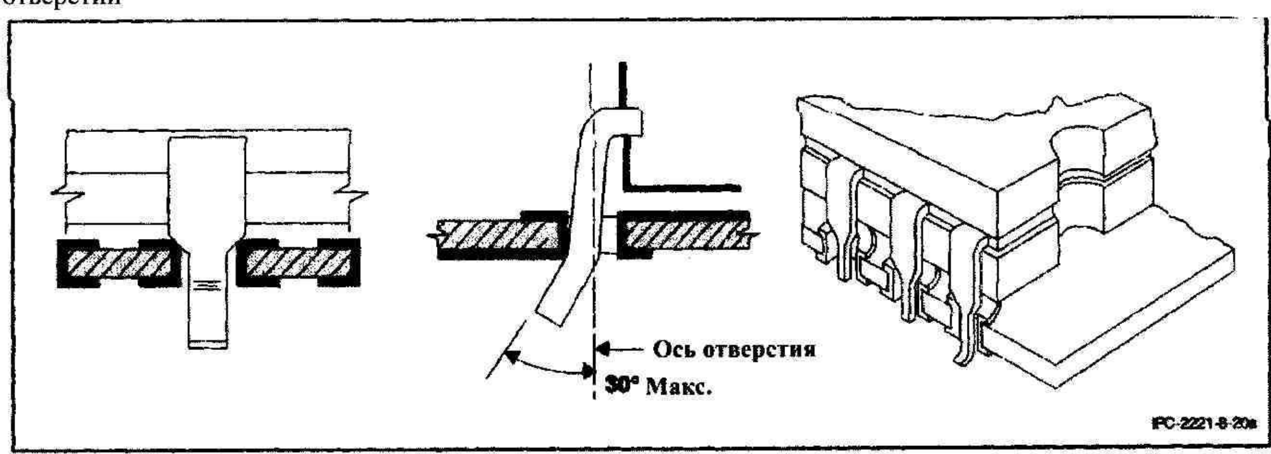


Рис.8-20 Изгибы вывода DIP корпуса

8.3.1.5 DIP корпуса. Для фиксации компонента выводы DIP корпуса могут подгибаться в любом направлении. Угол подгиба должен быть ограничен 30^0 от первоначального положения вывода.

Изгиб ограничивается двумя выводами на сторону (четыре вывода на компонент). См. рис. 8-20.

DIP корпуса могут иметь выводы, предназначенные для поверхностного монтажа. Для случаев применения с очевидными жесткими тепловыми нагрузками торцевой (стыковой) монтаж корпусов применяться **не должен.**

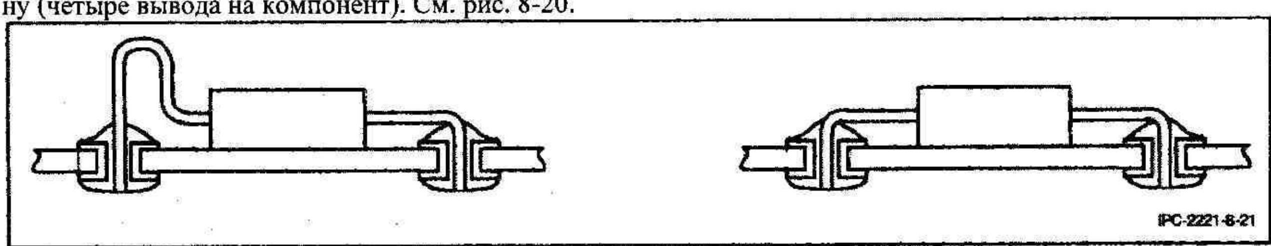


Рис.8-21 Припой на радиусе изгиба вывода

8.3.1.6 Компоненты с аксиальными выводами. Компоненты с аксиальными выводами должны монтироваться в соответствии в 8.1.11. Изгибы (формовка) выводов **должны** снижать механические напряжения, как указано в этом параграфе. См. рис. 8-2, показывающий центрирование корпуса компонента и рис. 8-9, показывающий изгибы выводов.

Выводы компонентов, смонтированных горизонтально, с корпусами, расположенными вплотную к печатной плате, **должны** быть отформованы так, чтобы исключить излишки припоя на изгибах выводов компонентов (см. рис. 8-21). Припой может присутствовать на изгибах отформованных аксиальных выводов компонентов, при условии, что это является результатом нормального действия смачивания вывода припоем и что верхняя сторона радиуса изгиба вывода различима. Припой не должен простираться так, чтобы он соприкасался с корпусом компонента (см. J-STD-001).

8.3.1.7 Компоненты с радиальными выводами.

А. *Компоненты с радиальными выводами (2 вывода).* Компоненты с радиальными выводами имеют различные расстояния между выводами. Заданное чертежом расстояние между выводами, в основном, обусловлено расстоянием, на котором выводы выходят из корпуса компонента, и ближайшим шагом координатной сетки (см. рис. 8-22).

Двухвыводные компоненты конфигураций от А до Е, показанные на рис.8-22, должны быть смонтированы свободно установленными, большая сторона которых перпендикулярна поверхности платы в пределах допуска 15^0, как показано на рис.8-23, если:

- Угловатость требуется для зазора при последующей сборке
- Грань корпуса, ближайшая к плате, параллельна поверхности платы в пределах 10^0 и имеет зазор не менее 1 мм и не более 2,3 мм от поверхности платы. Для компонентов конфигураций от F до J на рис.8-22 требования угловатости исключены. Компоненты с радиальными выводами с менисками покрытия на одном или более выводах должны быть смонтированы так, чтобы между мениском покрытия и галтелью припоя имелся видимый зазор. Зачистка менисков запрещена (см. рис. 8-24).

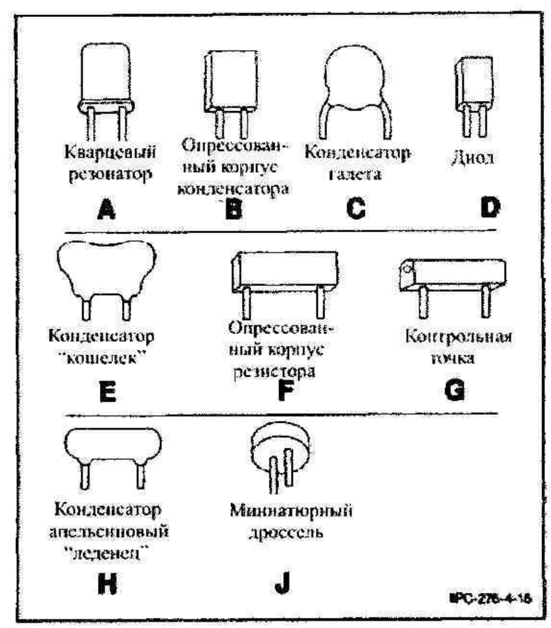


Рис. 8-22 Компоненты с двумя радиальными выводами

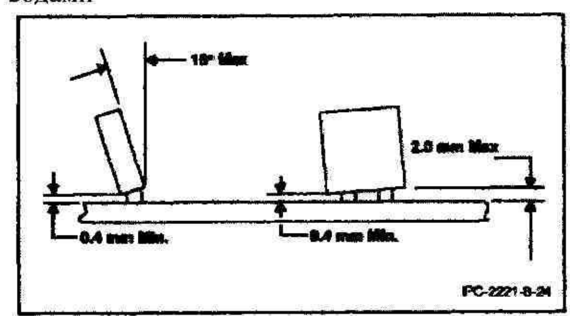


Рис.8-23 Расположение компонента с двумя радиальными выводами

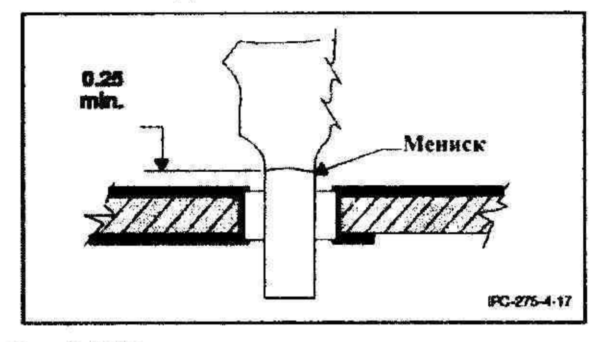


Рис. 8-24 Зазор мениск-плата, мм

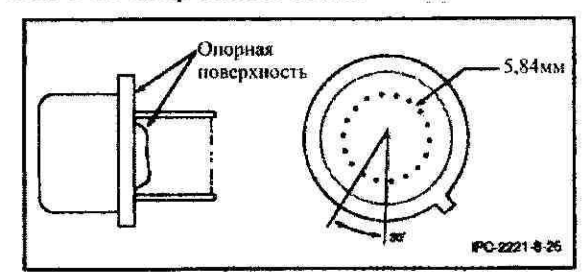


Рис.8-25 Компонент в корпусе ТО с радиальными выводами, мм

B. *Компоненты с радиальными выводами (3 или более выводов).* Компоненты с 3-мя или более радиальными выводами имеют различные расстояния между выводами. Проектируемое (задаваемое в КД) расстояние между выводами, в основном, обусловлено расстоянием, на котором выводы выходят из корпуса компонента, и ближайшим расстоянием до пересечения осей координатной сетки, которая используется для трассировки проводников.

C. *Требования высокой надежности для изделий класса 3.* Для изделий класса 3 высоконадежного применения компоненты должны быть смонтированы свободно установленными (т.е. поверхность основания компонента отделена от поверхности платы без другого крепления, кроме выводов компонента), если вес компонента составляет 3,5 г на вывод или менее. Если компоненты имеют целую (integral) опорную поверхность, то опорная поверхность компонента может соприкасаться с платой. Если компоненты смонтированы свободно установленными, то зазор между поверхностью компонента и поверхностью платы должен быть минимум 0,25 мм и максимум 2,5 мм.

Отсутствие требований по непараллельности приведет к несоответствию пределов минимального и максимального зазоров.

8.3.1.8 Перпендикулярный (вертикальный) монтаж. Компоненты с аксиальными выводами весом менее 14 г могут быть установлены на модуле вертикально, т.е. главная ось корпуса компонента перпендикулярна поверхности платы. Зазор между корпусом компонента (или сваренным выводом) и платой должен быть минимум 0.25 мм. Ограничение высоты для общего монтажа компонентов обычно связано с компонентами с осевыми выводами, установленными вертикально. В основном, профиль компонентов должен поддерживаться по возможности низким к поверхности платы. Его максимальная допустимая высота от поверхности монтируемой платы должна быть 15 мм, см. рис. 8-26.

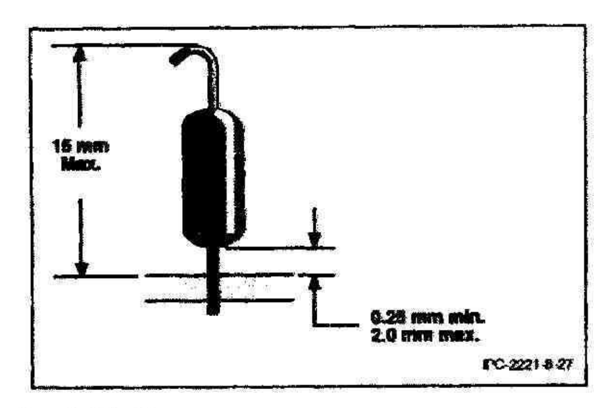


Рис.8-26 Перпендикулярное расположение компонента, мм

8.3.1.9.Плоские корпуса. Компоненты в плоских корпусах обычно имеют плоские ленточные выводы, которые выходят из корпуса компонента с шагом 1.27 мм (см. рис. 8-27).

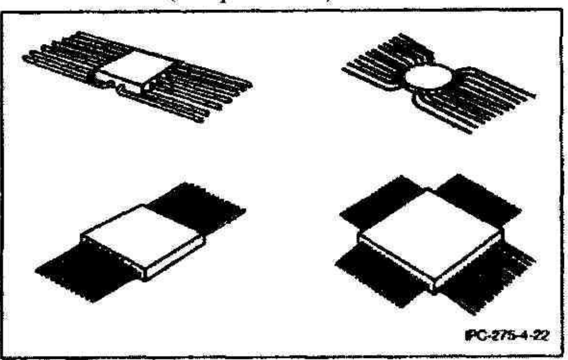


Рис.8-27 Плоские корпуса и квадратные плоские корпуса

Формовка выводов может потребоваться для предотвращения механических напряжений в месте выхода вывода из корпуса, особенно для компонентов с выводами, монтируемыми в сквозные металлизированные отверстия (см. рис. 8-28). Для целей отмывки требуется минимальный зазор 0,25 мм между платой и корпусом компонента. Корпус компонента **не должен** соприкасаться с любыми переходными отверстиями, кроме переходных отверстий, покрытых по 8.1.7. Прямой участок вывода, выходящего из корпуса компонента или от места сварки до начала радиуса его изгиба, должен быть равен, как минимум, одному диаметру вывода или его толщине, но не менее 0.8 мм (см. рис. 8-9 и J-STD-001).

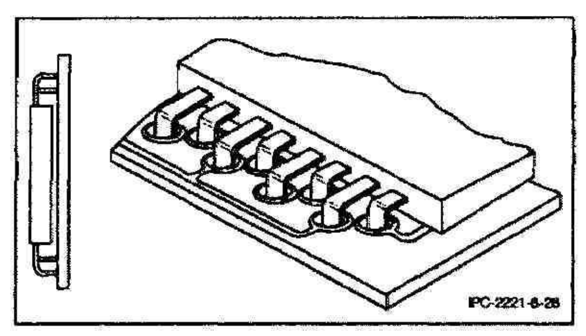


Рис.8-28 Пример конфигурации ленточных выводов плоских корпусов, установленных в отверстие платы

8.3.1.10 Металлические мощные корпуса. Если конструкция включает металлические мощные корпуса, то они **не должны** монтироваться свободно. Для их крепления могут использоваться элементы жесткости, теплоотводы, рамки и шайбы.

Незакаленные выводы металлических мощных корпусов диаметром не более 1,25 мм могут монтироваться в сквозные металлизированные отверстия платы или проходить через отверстия платы. Выводы корпусов, проходящие через отверстия платы, **должны** быть разгружены от механических напряжений (см. рис. 8-29).

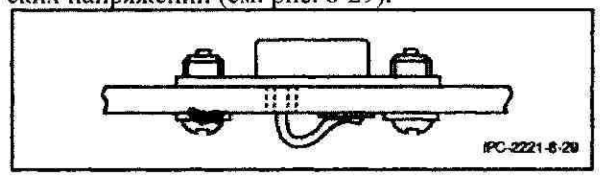


Рис. 8-29 Металлический мощный корпус с податливыми выводами

Корпус, выводы которого установлены в металлизированные отверстия, **должен** быть смонтирован отстоящим от платы, а для обеспечения механической разгрузки выводов используются эластичные шайбы (см. рис. 8-30).

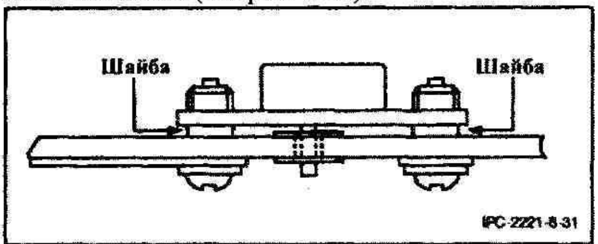


Рис. 8-30 Металлический мощный корпус с эластичными шайбами

Металлические мощные корпуса могут иметь неподатливые (жесткие) выводы, также монтируемые в сквозные металлизированные отверстия или проходящие через отверстия платы. Требования к выводам в металлизированных сквозных отверстиях **должны** быть теми же, что и для корпусов с податливыми выводами (см. рис. 8-29). Для корпусов, выводы которых проходят через плату, они **должны** соединяться с платой проводными перемычками (см. рис. 8-31). Соединение перемычки с платой **должно** выполняться в сквозном металлизированном отверстии или на контактной площадке платы.

При монтаже с использованием шайб следует соблюдать осторожность для обеспечения постоянства электрического контакта между корпусом компонента и печатной схемой при всех условиях эксплуатации.

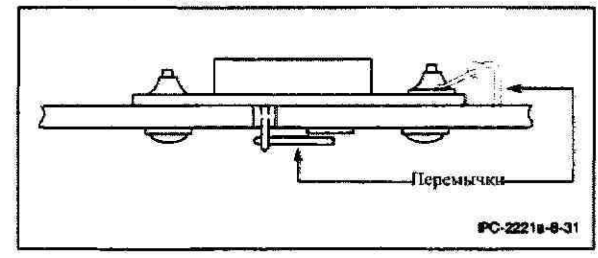


Рис.8-31 Металлический мощный корпус с неподатливыми выводами

Всякий раз при монтаже выводов в металлизированное отверстие сборка **должна** обеспечить возможность отмывки пространства между компонентом и платой. Металлические мощные корпуса, усилители жесткости, теплоотводы, рамки и эластичные шайбы, на которых монтируются металлические мощные корпуса, должны быть таких конструкций, которые **не должны** закрывать сквозные металлизированные отверстия, должны предотвращать чрезмерные механические напряжения (обеспечивать снижения напряжений) и облегчать отмывку.

8.4 Стандартные требования к поверхностному монтажу.

Автоматическая сборка поверхностно-монтируемых компонентов выполняется на станках, работающих по принципу “взять и установить”, и используется для позиционирования и размещения чип-компонентов, дискретных кристаллодержателей, малогабаритных корпусов (SO) и плоских корпусов. Конструкция печатной платы **должна** предусматривать соответствующие зазоры для автоматического сборочного оборудования в месте позиционирования компонентов и их правильную ориентацию, а также обеспечивать соответствующие зазоры для монтажных головок (см. IPC-SM-780).

Обычно компоненты с малым шагом выводов с размерами корпуса от 250 до 775 мм^2 могут устанавливаться на автоматическом оборудовании без системы машинного зрения. В большинстве случаев компоненты с максимальными габаритами 1300 мм^2, измеренные по внешним сторонам вы-

водов, устанавливаются с применением систем совмещения машинного зрения.

Большие корпуса усиливают влияние теплового рассогласования между компонентом и подложкой. Обычно минимальные размеры безвыводных компонентов, которые можно установить с помощью автоматического оборудования, составляют 1,5 мм по номинальной длине и 0,75 мм по номинальной ширине. Меньшие компоненты требуют высокой точности расположения. Использование вакуумного захвата для стандартного оборудования также вызывает затруднение.

Следует избегать очень маленьких пассивных компонентов. Безвыводные пассивные компоненты должны иметь соотношения сторон более единицы и менее трех. Компоненты с более высоким соотношением сторон склонны к растрескиванию в процессе пайки. Квадратные компоненты (соотношение сторон=1) сложно ориентировать.

Небольшие компоненты легко паять, но контактные площадки (fotoprint) должны располагаться достаточно широко, чтобы обеспечить надежное нанесение клея без замазывания проводника. Следует избегать компонентов, для которых расстояние между монтажными контактными площадками (для одного и того же компонента) составляет менее 0,75 мм, что обусловлено ограничениями применяемых процессов (приклеивание чип-компонентов или клея-расплава). Следует избегать высокопрофильных поверхностно-монтируемых компонентов (высотой более 2,5 мм), которые мешают волне припоя обтекать соседние компоненты.

Для обеспечения легкости контроля собранных поверхностно-монтируемых компонентов конструкция сборки должна включать специальные знаки ориентации компонентов. Методы могут включать специальные знаки или специальную конфигурацию контактной площадки для идентификации такой характеристики, как первый вывод корпуса интегральной схемы.

8.4.1 Поверхностно-монтируемые компоненты с выводами.

Требования и обсуждения, приведенные в 8.1.7, применимы к поверхностно-монтируемым компонентам с выводами. Формовка выводов является главным вопросом при обсуждении конструкции (проекта). Форма заказных выводов должна быть указана на сборочном чертеже, предусматривать разгрузку вывода от механических напряжений, обеспечивать соответствие с рисунком контактных площадок, допускать зазор под корпусом компонента для отмывки и предусматривать конструктивные меры для передачи тепла (см. рис. 8-32 и IPC-SM-782).

Компоненты с осевыми выводами можно использовать как поверхностно-монтируемые после зачеканки (расплющивания) выводов (см. рис. 8-33). Однако их нельзя монтировать на поверхность в вертикальном положении (см. рис. 8-26).

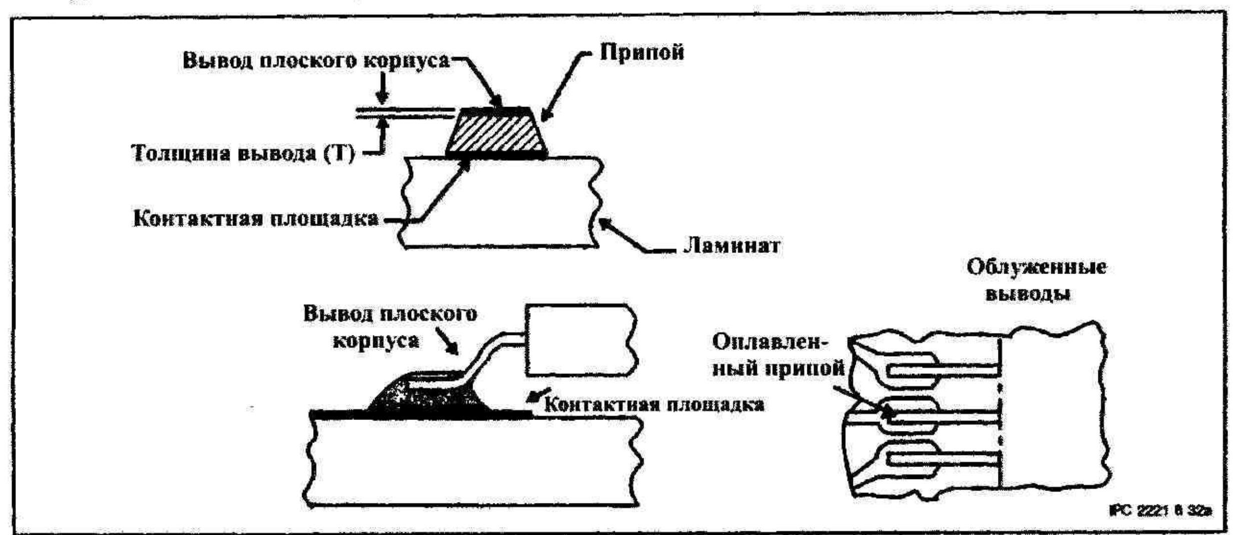


Рис.8-32 Примеры монтажа плоского корпуса

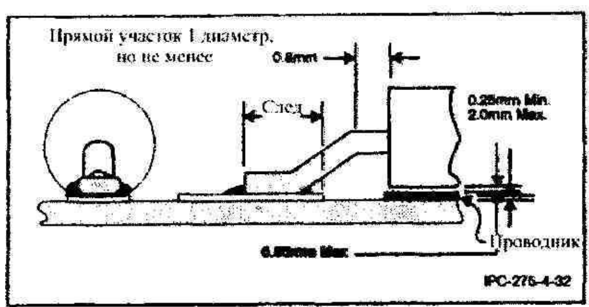


Рис. 8-33 Круглый или зачеканенный вывод

8.4.2 Компоненты в плоском корпусе.

Компоненты в плоском корпусе обычно имеют плоские ленточные выводы, выходящие из корпуса компонента с шагом 1,27 мм (см. рис. 8-34). Хотя они обычно имеют от 14 до 16 выводов, но доступны корпуса с количеством выводов до 50.

Если поверхностно-монтируемые плоские корпуса требуют формовки выводов, то конфигурация выводов **должна** соответствовать рис. 8-34. Неизолированные компоненты, установленные над незащищенной схемой, **должны** иметь отформованные выводы, чтобы обеспечить минимальный зазор 0,25 мм между дном корпуса компонента и незащищенной схемой платы. Максимальный зазор между дном корпуса выводного компонента и поверхностью печатной платы должен быть 2,0 мм.

Изолированные элементы или элементы над поверхностями платы без печатного рисунка могут устанавливаться вплотную к плате. Если требуется передача тепла от компонента к плате, то следует дать особые рекомендации по отмывке.

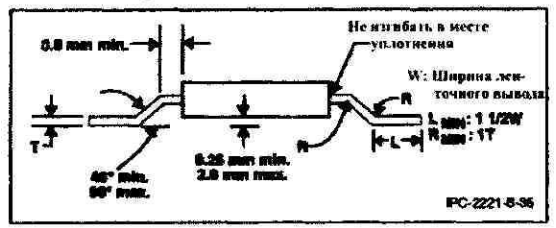


Рис.8-34 Конфигурация ленточных выводов для поверхностно-монтируемых плоских корпусов

8.4.3 Ленточные выводы.

Ленточные выводы можно присоединять к площадкам на печатной плате (см. рис. 8-35). Соединения **должны** выполняться только пайкой или проволокой.

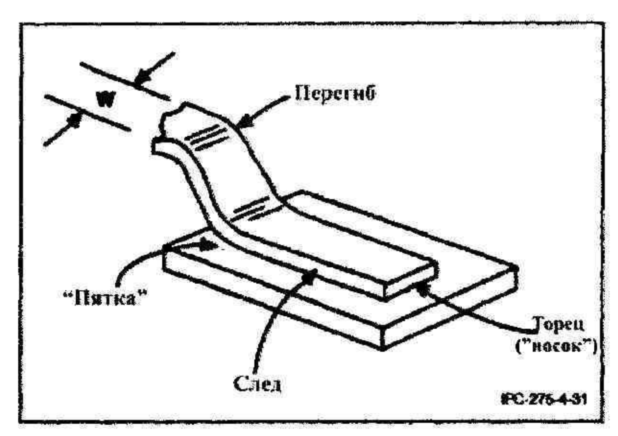


Рис. 8-35 Требования к размещению "пятки" вывода

8.4.4 Круглые выводы.

В некоторых случаях компоненты с круглыми выводами можно присоединить к поверхности контактных площадок без их прохода через отверстие. Контактные площадки должны проектироваться соответствующей формы и с зазором, чтобы они соответствовали надлежащим методам пайки. Компоненты с осевыми выводами круглого поперечного сечения можно расчеканить или расплющить для обеспечения надежного монтажа (см. рис. 8-33).

8.4.5 Розетки для компонентов с выводами.

Розетки для компонентов с выводами можно допустить для аппаратуры класса 3 с высокими требованиями по надежности, если их приемлемость подтверждена конструкторским исследованием (анализом). Остерегайтесь использовать для применения покрытия из неблагородных металлов или финишных поверхностях, как для розеток, так и выводов компонентов из-за возможности образования тепла или разрыва цепей из-за коррозионного износа при вибрации или термоциклировании.

8.5 Технология поверхностного монтажа компонентов с малым шагом выводов. См. SMC-TR-001

8.6. Бескорпусные кристаллы п/п ИС.

8.6.1 Соединения проволокой.

См. IPC-MC-790

8.6.2 Перевернутый кристалл.

См. J-STD-012

8.6.3 Корпус размером с кристалл.

Корпус размером с кристалл определен как корпус, площадь которого составляет не более 120% площади кристалла. Монтаж получил ограниченное распространение из-за дороговизны процесса сборки. Факторами, вносящими наибольший вклад в затраты, являются:

- пропускная способность (число размещений/время)
- требования к системе машинного зрения
- возможность выбора впускаемых кристаллов
- точность совмещения кристалла с подложкой
- требования копланарности кристалла к подложке
- дополнительные требования к таким параметрам, как подводимое тепло и давление в процессе сборки

Дополнительные сведения по монтажу компонентов размером с кристалл, см. J-STD-012.

8.7 Автоматизированное соединение кристаллов в ленту .

См. SMC-TR-001.

8.8 Шариковые выводы из припоя

(корпуса BGA, микро BGA и т.д.) – см. J-STD-013 и IPC-7095.

9.0 Отверстия/межсоединения

9.1 Общие требования к контактным площадкам с отверстиями

Контактные площадки **должны** быть предусмотрены для каждого места крепления (присоединения) вывода элемента или места другого вида электрического соединения с печатной платой. Наиболее часто используются круглые контактные площадки, однако необходимо отметить, что могут быть использованы и другие формы контактных площадок для улучшения изготовляемости продукции. Если допускается разрыв контактных площадок, **должна** использоваться видоизмененная форма площадки. Она может включать, например, утолщения для создания дополнительной площади в месте соединения с проводником, или иметь прямоугольную форму с угловым соединением с проводником , или быть в виде ключа для создания дополнительной площади контактной площадки вдоль оси устанавливаемого (входящего) вывода (См. Рис.9-1). Видоизмененная форма контактной площадки **должна** обеспечивать необходимую токовую пропускную способность разрабатываемой схемы.

9.1.1 Требования к контактной площадке

Все контактные площадки и кольцевые контактные площадки **должны** быть по возможности предельно увеличены с учетом правил проектирования и требуемого диэлектрического расстояния. В соответствии с требованиями к кольцевой контактной площадке, указанными в разделе 9.1.2., минимальная площадка, расположенная вокруг металлизированного или неметаллизированного отверстия, должна рассчитываться, как указано ниже. Для наиболее неблагоприятных условий проектирования взаимосвязь контактной площадки и диаметра отверстия устанавливается формулой:

Размер контактной площадки, минимум =a + 2b +c,
где:

a = максимальный диаметр обработанного отверстия.

Примечание: Для внешних слоев требования относятся к максимальному диаметру готового отверстия. Для внутренних слоев используется диаметр просверленного отверстия.

b = минимальный требуемый размер кольцевой контактной площадки (см. Раздел 9.1.2)

Примечание: В расчет должно включаться обратное травление*

c = нормативный производственный допуск, указанный в Табл.9-1, учитываемый при изготовлении производственных фотошаблонов, включающий отклонения при выполнении технологического процесса изготовления печатных плат.

Примечание: Для определения дополнительного технологического допуска обратитесь к конкретному частному стандарту на проектирование

В случае использования обратного травления изоляционный участок, поддерживающий контактную площадку, будет уменьшаться. Минимальная кольцевая площадка, предусмотренная при проектировании, **должна** быть не менее максимально допустимой глубины обратного травления.

Таблица 9-1 Нормативный (стандартный) производственный допуск для контактных площадок межсоединения

Уровень А	Уровень В	Уровень С
0.4мм	0.25мм	0.2мм

1. Если используется медь, то для веса меди более 1 унции/фут^2 в качестве производственного допуска на каждую дополнительную унцию/фут^2 добавляется минимум 0.05мм на размер контактной площадки.
2. Если количество слоев более 8, то добавляется 0.05мм.
3. Определение уровней А, В и С см.1.6.3.

9.1.2 Требования к кольцевой контактной площадке

Кольцевая контактная площадка **должна** соответствовать требованиям, предъявляемым к сквозным металлизированным отверстиям при проектировании плат Класса 3. Технические требования к платам Класса 1 и Класса 2 допускают частичный разрыв отверстием контактных площадок. При проектировании такой продукции необходимо учитывать, что разрыв кольцевых контактных площадок нежелателен и должны предусматриваться соот-

ветствующие требования к размерам отверстия и площадки, чтобы на готовой продукции разрывы контактных площадок отсутствовали. Отверстия без контактных площадок или отверстия с ограниченными размерами контактных площадок **должны** использоваться только при проведении предварительных работ перед началом процесса проектирования, требующих соответствующего образца, похожего на тот, который будет применяться.

Минимальная кольцевая контактная площадка на внешних слоях – это минимально узкое место между краем отверстия и краем контактной площадки после окончательного покрытия отверстия (см.Рис.9-2). Минимальная кольцевая площадка на внутреннем слое – это минимально узкое место между краем просверленного отверстия и краем контактной площадки после сверления отверстия (см.Рис.9-3).

А Внешняя кольцевая площадка- Минимальная кольцевая площадка для неметаллизированных и металлизированных отверстий **должна** соответствовать Табл. 9-1 и Рис.9-2.

В. Внутренняя кольцевая площадка – Минимальная кольцевая площадка внутренних слоев многослойных печатных плат и печатных плат на металлическом основании **должна** соответствовать Табл.9-2 и Рис.9-3. При использовании обратного травления изоляционный участок, поддерживающий внутреннюю кольцевую контактную площадку, будет уменьшаться. Минимальная кольцевая контактная площадка **должна** быть не менее максимальной глубины обратного травления.

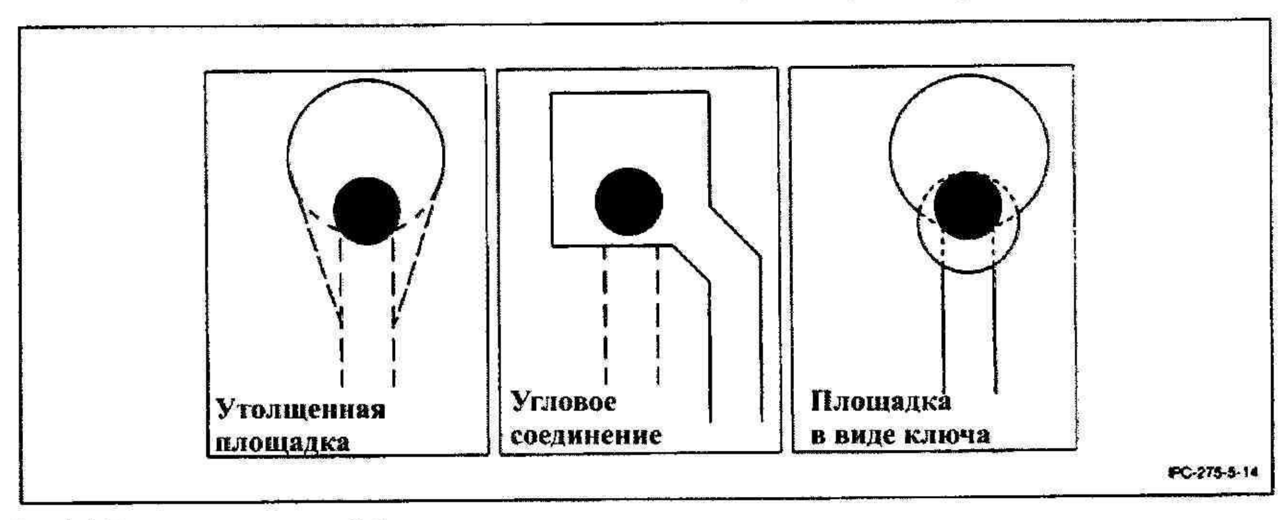


Рис.9-1 Примеры измененной формы контактных площадок

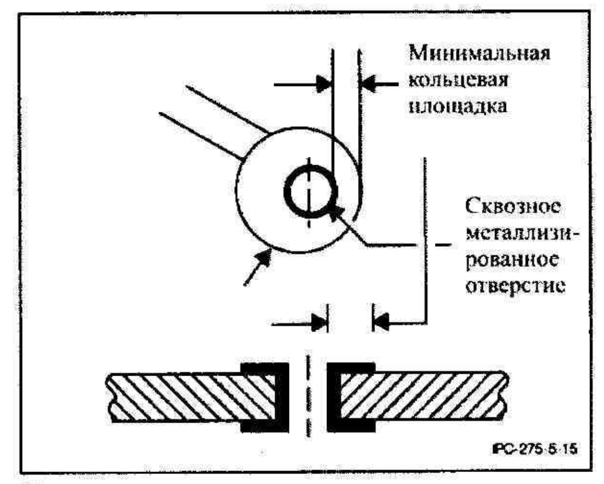


Рис.9-2 Внешняя кольцевая площадка

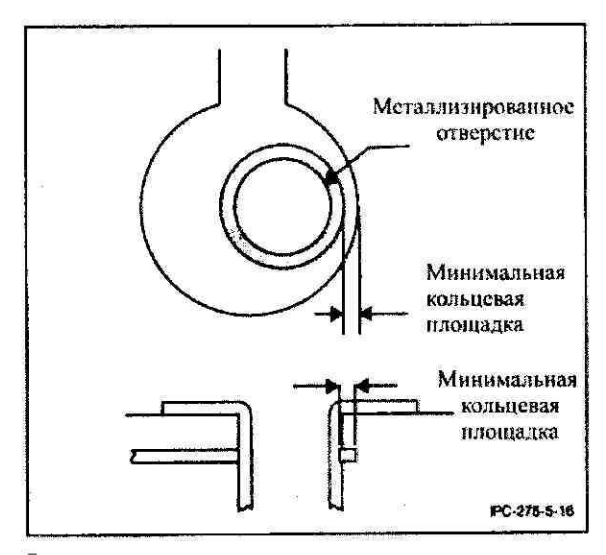


Рис.9-3 Внутренняя кольцевая площадка

Табл.9-2 Внутренняя кольцевая площадка (минимум)

Кольцевая контактная площадка	Класс 1, 2 и 3
Внутренняя с металлизацией	0.025 мм
Внешняя с металлизацией	0.050 мм
Внешняя без металлизации	0.0150 мм

9.1.3 Высвобождения в проводящих поверхностях

Высвобождения в проводящих поверхностях требуются только для отверстий, подвергаемых пайке и расположенных на больших проводящих поверхностях (поверхности земли, поверхности питания, теплоотводы т.п.). Высвобождения требуются для снижения времени пайки путем создания термического сопротивления в процессе пайки.

Этот тип соединения **должен** иметь рельеф, типы которого приведены на Рис.9-4. Соотношение размера отверстия, контактной площадки и поверхности перемычки является критичным. Для более подробной информации обратитесь к частному стандарту.

9.1.4 Контактные площадки для сплющенных круглых выводов

Для сплющенных круглых выводов **должны** быть предусмотрены площадки, которые обеспечат такую их установку, чтобы задняя часть вывода и соединение вывода соответствовали Рис.8-33.

Размеры вывода и контактной площадки должны быть рассчитаны для минимизации бокового нависания (для продукции Класса 3 допускается нависание до ¼ диаметра вывода). Нависание передней части вывода является допустимым, если не сокращается минимальное, предусмотренное при проектировании расстояние между проводниками. Если используются плоские выводы, толщина плоской части не должна быть меньше 40% исходного диаметра (см.J-STD-001).

9.2 Отверстия

9.2.1 Неметаллизированные отверстия

Отверстия этого типа проходят через всю толщину печатной платы. Они не содержат покрытия или других видов обработки. Они могут быть использованы в качестве установочных, монтажных или для крепления элементов.

9.2.1.1 Установочные отверстия

Этот тип отверстий является физическим элементом, который может быть в форме отверстия или паза на печатной плате, изготовленной заготовке или смонтированной заготовке. Установочные отверстия используются исключительно для установки печатной платы или сборки в процессе изготовления, монтажа и при проведении испытаний. Они используются при выполнении следующих операций:

a) Совмещение фотошаблонов.

b) Позиционирование слоев при ламинировании.

c) Установка заготовок при сверлении.

d) Испытание несмонтированных печатных плат.

e) Установка заготовок для автоматической сборки.

f) Испытание на функционирование.

Конструктор обязан указывать установочные отверстия, которые остаются на плате или заготовке. Изготовитель плат обязан определять установочные отверстия, необходимые для изготовления плат.

9.2.1.2 Монтажные отверстия

Это отверстия. которые используются для механического крепления печатных плат или механического присоединения элементов к печатным платам.

9.2.2 Сквозные металлизированные отверстия

Этот тип отверстий имеет металлическое покрытие на их стенках, которое осуществляет электрическое соединение между проводящими рисунками на внешних или внутренних слоях печатных плат или на тех и других.

Эти отверстия могут также использоваться для присоединения компонентов, монтажа внутренних межсоединений или для отвода тепла.

9.2.2.1 Глухие и внутренние переходные отверстия

Сквозные металлизированные отверстия, соединяющие два или несколько проводящих слоёв многослойной печатной платы, но не проходящие через все слои материала основания печатной платы, называются глухими и внутренними переходными отверстиями.

A) *Глухие сквозные металлизированные отверстия* Глухие переходные сквозные металлизированные отверстия начинаются от поверхности платы и соединяют поверхностный слой с одним или несколькими внутренними слоями. Глухие отверстия могут быть изготовлены двумя методами: (1) После прессования много-

слойной печатной платы сверлятся отверстия от поверхности платы до требуемого внутреннего слоя и создается электрическое соединение с помощью осаждения покрытия в глухие переходные отверстия при выполнении технологического процесса металлизации; (2) Перед прессованием многослойной печатной платы сверлятся глухие отверстия от поверхности слоёв до первого или последнего внутреннего слоя, затем выполняют сквозную металлизацию, получение изображения, травление внутренних сторон; после чего соединяют их посредством прессования в многослойную структуру. При втором методе, если внутренние соединения требуются между поверхностным слоем и несколькими внутренними слоями, последующие процессы травления, прессования, сверления и сквозной металлизации этих слоёв необходимо проводить вместе перед окончательным прессованием. Глухие переходные отверстия должны быть перекрыты полимером или паяльным резистом для предохранения их от заполнения припоем, т.к. припой в отверстиях с малым диаметром снижает их надежность.

B) *Внутренние переходные отверстия* Внутренние переходные сквозные металлизированные отверстия не предназначены для расположения их на поверхности и создают лишь межсоединения внутренних слоёв. Чаще всего межсоединения выполняются между двумя соседними слоями. Они создаются посредством сверления тонких ламинатов, металлизации сквозных отверстий и травления проводящего рисунка внутренних слоёв перед прессованием. Для получения внутренних переходных отверстий в слоях, которые не являются соседними, требуется травление внутренних сторон слоёв , соединение их вместе с помощью прессования, последующая металлизация, травление внешних сторон и прессование этих заготовок для получения окончательной многослойной заготовки.

C) *Размеры глухих и внутренних переходных отверстий* Обычно для изготовления глухих и внутренних переходов используются отверстия небольшого диаметра, которые могут быть изготовлены механическим способом, с помощью лазера или плазмы. Минимальный размер внутреннего переходного просверленного отверстия приведен в Табл.9-3, а минимальный размер просверленного глухого переходного отверстия приведен в Табл.9-4. В том и другом случае при покрытии должен быть рассмотрен коэффициент соотношения диаметра отверстия к толщине платы; маленькое глубокое глухое переходное отверстие очень трудно металлизировать из-за пониженной кроющей способности и ограниченного обмена раствора в отверстиях. Глухие и внутренние переходные отверстия могут быть перекрыты покрытием; в основном чертеже должно быть указано о возможности их использования для сквозных металлизированных переходов. Для получения большей информации см. частный стандарт.

Таблица 9-3 Минимальный размер просверленного отверстия для внутренних переходов

Толщина слоя	Класс 1	Класс 2	Класс 3
<0.25 мм	0.10 мм	0.10 мм	0.15 мм
0.25-0.5 мм	0.15 мм	0.15 мм	0.20 мм
0.5 мм	0.15 мм	0.20 мм	0.25 мм

Таблица 9-4 Минимальный размер просверленного отверстия для глухого перехода

Толщина слоя	Класс 1	Класс 2	Класс 3
<0.10 мм	0.10 мм	0.10 мм	0.2 мм
0.10-0.25 мм	0.15 мм	0.20 мм	0.3 мм
0.25 мм	0.20 мм	0.30 мм	0.4 мм

9.2.2.2 Теплоотводящие переходные отверстия

Теплоотводящие переходные отверстия – это сквозные металлизированные отверстия, обычно расположенные под устройствами высокой мощности в группе, которая формирует соединение с корпусом устройства непосредственно или с помощью теплопроводящего агента. Их соединение с внутренними поверхностями и/или внешними поверхностями служит для отвода тепла от корпуса устройства. Теплоотводящие переходные отверстия обычно больше, чем внутренние переходные и глухие отверстия, и к ним не предъявляются требования в том же объеме, как и к другим переходным отверстиям.

9.2.3 Расположение отверстий

Все отверстия и габариты **должны** быть образмерены в соответствии с 5.4.

Примечание: Форма (pattern) выводов большинства компонентов, монтируемых на печатные платы, является основным фактором, влияющим на выбор измерительной системы (метрической или стандартной).

9.2.4 Отклонение расположения отверстия

Если шаг координатной сетки выбран (см.5.4.2), то элементы, шаг выводов которых отличается от шага координатной сетки, **должны** быть устанавлены на печатной плате, имеющей один из следующих рисунков расположения отверстий:

Рисунок расположения отверстий, при котором по крайней мере, одно отверстие под вывод элемента расположено на пересечении осей координатной

сетки, а размеры расположения других отверстий рисунка проставлены от координатной сетки.

Рисунок расположения отверстий, при котором его центр находится на пересечении осей координатной сетки, а все отверстия рисунка образмерены от осей координатной сетки.

9.2.5 Допуски

9.2.5.1 Допуски на расположение на отверстия

В Табл.9-5 приведены значения допусков на расположение отверстий, которые должны использоваться для расположения базового отверстия, если в качестве материала основания печатных плат применяются стеклоэпоксидные диэлектрики. Все допуски заданы в виде диаметра вокруг истинного расположения. Эти допуски выбираются с учетом позиционирования сверла и точности сверления. Кроме того, допуски зависят от толщины материала, типа и плотности меди. Результатом обычно является уменьшение допуска на расположение базовых отверстий

Таблица 9-5 Допуск на расположение отверстия

Уровень А	Уровень В	Уровень С
0.25 мм	0.2 мм	0.15 мм

9.2.5.2 Неметаллизированные отверстия

A) *Установочные отверстия* Установочные отверстия имею жесткий допуск для исключения перемещения платы относительно установочных штырей. Это особенно важно, если отверстия используются для совмещения. Регистрирующие штыри обычно очень точные, с допуском в пределах 0.025 мм или меньше. Отверстия также имеют жесткий допуск, в пределах 0.05 мм. Условие максимального материала (MMC) и условие минимального материала (LMC) являются терминами, используемыми для описания взаимосвязи между отверстием и штырем. Условием, влияющим на посадку, является, например, MMC отверстия (когда отверстие является наименьшим), которое обычно рассматривается с наименьшим расстоянием при MMC штыря (когда штырь является максимально большим). Расстояние. равное 0.025 мм, обычно достаточно для того, чтобы отверстие не получилось слишком большим , а штырь слишком маленьким.

B) *Монтажные отверстия* Допуски обычно связаны со стандартной посадкой и способами совмещения (см. IPC –2615.)



Рис.9-4 Типичный тепловой рельеф поверхности

9.2.5.3 Сквозные металлизированные отверстия

A) *Допуски сквозных металлизированных отверстий* Если используется основная система измерения, сквозные металлизированные отверстия, предназначенные для присоединения выводов компонентов или штырей к печатной плате, должны быть выражены предельными значениями в соответствии с MMC или LMC.

B) *Монтажные отверстия плат* Это отверстия, используемые для механического крепления плат при их сборке. Они могут также использоваться для электрических соединений. Допуски обычно связаны со стандартной посадкой и способами совмещения (см. IPC –2615).

9.2.6 Количество отверстий

Для каждого вывода, контакта или проволочной перемычки, которые устанавливаются в сквозные металлизированные отверстия, **должны** быть предусмотрены отдельные отверстия, за исключением указанных в 8.2.11.

9.2.7 Расстояние между соседними отверстиями

Расстояние между неметаллизированными или металлизированными отверстиями (или теми и другими) должно быть таким, чтобы расстояние между контактными площадками, окружающими отверстия, соответствовало требованиям 6.3. Должно быть проведено рассмотрение требований к структурному материалу печатной платы, оставшаяся толщина которого должна быть не менее 0.5 мм.

9.2.8 Коэффициент соотношения (aspect ratio)

Коэффициент соотношения сквозных металлизированных отверстий является важным показателем способности изготовителя печатных плат обеспечить достаточную толщину покрытия в сквозных металлизированных отверстиях.

10 Общие требования к элементам схемы

10.1 Характеристики проводника

Проводники на печатной плате могут иметь разную форму. Они могут быть в виде отдельных трасс проводников или в виде проводящих поверхностей.

Если контрактной документацией требуется поставка стабильной продукции в пределах допусков на характеристики схемы, то **должны** быть установлены критичные элементы проводящего рисунка, которые могут воздействовать на характеристики схемы, такие как распределенная индуктивность, ёмкостное сопротивление и т.д.

10.1.1 Ширина и толщина проводника

Ширина и толщина проводника на готовой печатной плате **должна** быть установлена на основании сигнальной характеристики, требуемой токовой пропускной способности и максимально допустимого роста температуры. Это **должно** быть определено с использованием Рис.6-4. При определении толщины проводников на готовой печатной плате конструктор должен рассмотреть вопрос возможности изменения толщины меди на слоях платы в результате технологической обработки. Должна быть оценена чувствительность схемы к падению напряжения и на основании конструкторских ограничений определено минимальное значение толщины. Табл.10-1 и 10-2 предназначены для предоставления рекомендаций, связанных с конструкцией и возможностью изготовления, которые не должны восприниматься как требования к конструкции.

Если к продукции предъявляются требования, разработанные Underwriters Laboratories (UL), то установленная минимальная ширина проводника должна быть в пределах, утвержденных UL для изготовителя печатных плат (см. UL 746E).

Для обеспечения изготовляемости и продолжительного срока службы ширина проводника и требуемое расстояние должны быть максимально возможными для сохранения требуемого минимально допустимого расстояния. Номинальная ширина проводника и допуски на готовой плате **должны** быть указана в основном чертеже.

Табл.10-1 Толщина фольги внутренних слоев после технологической обработки

Вес, унции,[мкм]	**Абсолютная минимальная толщина Cu (IPC-4562, снижение веса менее 10%), мкм**	**Допустимое максимальное снижение в результате технологической обработки* (мкм)**	**Окончательная минимальная толщина после технологической обработки (мкм)**
1/8 [5.10]	4.60	1.50	3.1
¼ [8.50]	7.70	1.50	6.2
3/8 [12.00]	10.80	1.50	9.3
½ [17.10]	15.40	4.00	11.4
1 [34.30]	30.90	6.00	24.9
2 [68.60]	61.70	6.00	55.7
3 [102.90]	92.60	6.00	86.6
4 [137.20]	123.50	6.00	117.5
Выше 4		6.00	На 4 мкм ниже минимальной толщины, указанной в IPC-4562

*При повторном воздействии технологической обработки не допускается дополнительное, указанное в таблице снижение толщины для фольги весом менее ½ унции. Для фольги весом ½ унции и более указанное в таблице дополнительное снижение толщины допускается только для однократной дополнительной технологической обработки.

Если для проводника требуется двусторонний допуск, то номинальная ширина проводника на готовой плате и допуски, указанные в Табл.10-3, которые являются типичными для меди толщиной 46 мкм, **должны** указываться в основном чертеже. Эти размеры необходимо указывать в основном чертеже только для типичных проводников этой номинальной ширины. Если допуски. указанные в Табл.10-3, являются слишком широкими, по согласованию между заказчиком и поставщиком могут использоваться более жесткие допуски, чем предусмотренные Табл.10-3, которые **должны** быть указаны в основном чертеже, и рассмотрены для Уровня С. В Табл.10-3 приведены значения двусторонних допусков для проводников на готовой плате.

Табл.10-2 Толщина внешних проводников после нанесения гальванического покрытия

Вес, унции [мкм]	Абсолютная минимальная толщина Cu (IPC-4562, снижение веса менее 10%), мкм	Плюс минимальная толщина покрытия для Классов 1 и 2 (20 мкм)	Плюс минимальная толщина покрытия для Класса 3 (25 мкм)	Допустимое максимальное снижение толщины в результате технологической обработки * мкм	Минимальная толщина внешних проводников после технологической обработки(мкм)	
					Классы 1 и 2	Класс 3
1/8 [5.10]	4.60	24.60	29.60	1.50	23.1	28.1
¼ [8.50]	7.70	27.70	32.70	1.50	26.2	31.2
3/8 [12.00]	10.80	30.80	35.80	1.50	29.3	34.3
½ [17.10]	15.40	35.40	40.40	2.00	33.4	38.4
1 [34.30]	30.90	50.90	55.90	3.00	47.9	52.9
2 [68.60]	61.70	81.70	86.70	3.00	78.7	83.7
3 [102.90]	92.60	112.60	117.60	3.00	109.6	114.6
4 [137.20]	123.50	143.50	148.50	4.00	139.5	144.5

*Не допускается дополнительное снижение толщины при повторной обработке фольги весом менее ½ унции. Для фольги весом ½ унции и более указанное в таблице дополнительное снижение толщины допускается только для однократной дополнительной технологической обработки.

Пояснение: Минимальная толщина медного покрытия:
Класс 1=20 мкм
Класс 2=20 мкм
Класс 3=25 мкм

Таблица 10-3 Допуски на ширину проводников для фольги толщиной 46 мкм

Элементы	Уровень A	Уровень B	Уровень C
Без покрытия	± 0.06 мкм	± 0.04 мкм	± 0.015 мкм
С покрытием	± 0.10 мкм	± 0.08 мкм	± 0.05 мкм

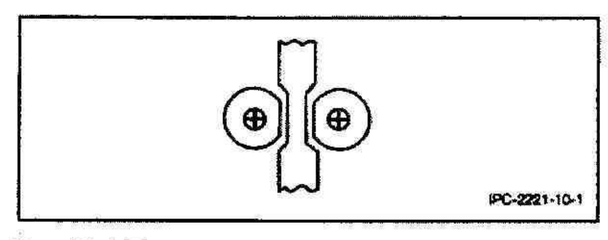


Рис. 10-1 Пример проводника с заужением

Ширина проводника должна быть по возможности одинаковой по всей длине, однако может быть необходимым заужение проводника для обеспечения возможности его трассировки на участках с ограниченными размерами, например, между двумя сквозными металлизированными отверстиями. Используемый участок с заужением проводника, показанный на Рис. 10-1, может также быть рассмотрен как мера усиления проводников, т.к. использование проводников одинаковой ширины, когда тонкие проводники проходят по всей плате, в противоположность использованию тонких и толстых проводников, является менее приемлемым, т.к. при большей ширине проводника уменьшается брак из-за краевых дефектов, выраженный в процентах по отношению к общей ширине проводника.

В любом случае, если используется изменяемая ширина проводника, требования к основной конструкции, приведенные в данном документе, не **должны** нарушаться в месте заужения.

10.1.2 Диэлектрическое расстояние

Требования к расстоянию устанавливаются для всех уровней сложности изделий (A, B, C) и классов характеристик (1, 2, 3). Проводящая маркировка может касаться проводников на одной стороне, но минимальное расстояние между маркировкой и соседними проводниками **должно** быть сохранено (см. Табл. 6-1).

Для сохранения расстояния между проводниками, указанного в основном чертеже, может потребоваться компенсация зазоров на производственном фотошаблоне для учёта технологических допусков, определенных в 10.1.1. Сквозные металлизированные отверстия, проходящие через внутренние по-

верхности медной фольги (земли или питания) и теплоотводов, **должны** соответствовать тем же требованиям к минимальным расстояниям между сквозным металлизированным отверстием и фольгой или заземляющей поверхностью, которые предъявляются к расстоянию между внутренними проводниками (см. 10.1.4). Для получения большей информации о диэлектрическом расстоянии см. 6.3.

10.1.3 Трассировка проводников

Длина проводника между любыми двумя контактными площадками должна быть минимальной. Однако проводники, которые являются прямой линией и направлены по осям X, Y или под углом 45^0, являются предпочтительными для компьютерной документации на механическую или автоматическую трассировку. Все проводники, которые изменяют направление под углом, меньшим 90^0, должны иметь внешний и внутренний углы скругленными или со скосами.

Для некоторой быстродействующей аппаратуры могут применяться специфические принципы трассировки. Типичным примером является последовательная трассировка между сигнальным источником, электрической нагрузкой и оконечной нагрузкой. Трассировка разветвителей может иметь специфические критерии.

10.1.4 Расстояние между проводниками

Минимальное расстояние между проводниками, элементами проводящего рисунка и проводящими материалами (например, проводящая маркировка, см. 10.1.2, или монтируемые элементы электронных устройств) и проводниками **должно** быть указано в основном чертеже. Расстояние между проводниками должно быть максимальным и, по возможности, оптимизировано (см. Рис.10-2). Для сохранения расстояния между проводниками, указанного в основном чертеже, ширина проводников и расстояние между ними должны быть скомпенсированы на рабочем фотошаблоне с учётом технологических допусков. Эти технологические допуски кроме фактора травления учитывают дефекты проводника и фитильный эффект, возникающий между сквозным металлизированным отверстием и соседними слоями с большими медными поверхностями (plane) при нанесении медного покрытия.

10.1.5 Покрытие дополнительных металлических участков

Дополнительные металлические участки являются нефункциональными. Располагаясь внутри контура обрабатываемых плат, они позволяют выровнять плотность тока при покрытии, обеспечивают равномерную толщину покрытия на поверхности печатной платы. Они **не должны** нарушать требования к минимальному расстоянию между проводниками и ухудшать электрические параметры плат.

10.2 Характеристики контактной площадки

10.2.1 Производственные (технологические) допуски

При проектировании площадки любой формы должны учитываться производственные допуски, особенно те, которые связаны с их шириной и расстоянием между ними. Производственные допуски, влияющие на характеристики, приведённые на Рис.10-3, **должны** быть учтены при проектировании для обеспечения изготовителю возможности выпускать изделия, соответствующие каждому пункту требований, деталлизированных в основном чертеже. См. IPC-D-310 и IPC-D-325.

10.2.2 Площадки для поверхностного монтажа

Когда необходим поверхностный монтаж, при проектировании печатных плат **должны** быть рассмотрены требования, приведенные в 10.1. Выбор конструкции и местоположения контактной площадки по отношению к компоненту может существенно влиять на паяное соединение. Вероятность теплопотери снижается заужением проводника около участка пайки. Конструктор должен понимать возможности и ограничения операций изготовления печатных плат и процессов сборки (см.IPC-SM-782). Различные процессы пайки, связанные с поверхностным монтажом, предъявляют специфические требования к контактным площадкам. Желательно, чтобы конструкция контактной площадки была подходящей для процесса пайки, используемого в производстве. Это уменьшит замешательство конструктора при проектировании и снизит количество типоразмеров контактных площадок.

10.2.3 Контрольные точки

Если требуется конструкцией (чертежом), контрольные точки для зондов **должны** быть предусмотрены в виде части проводящего рисунка и **должны** быть обозначены в сборочном чертеже. Переходные отверстия, широкие проводники или контактные площадки для монтажа компонентов могут быть рассмотрены для использования в качестве участков для зондов, имеющих достаточную площадь для их установки при условии сохранения целостности переходных отверстий, проводников или паяных соединений компонентов. Контрольные точки должны быть свободны от материала защитных покрытий. После окончания испытаний на контрольные точки может быть нанесено защитное покрытие.

10.2.4 Ориентировочные символы

В конструкцию должны быть включены специальные ориентировочные символы для облегчения проверки смонтированных компонентов. Могут быть предусмотрены специальные символы или контактные площадки специфической конфигурации для идентификации таких характеристик, как первый вывод корпуса интегральной схемы. Следует принять меры для избежания неблагоприятного воздействия процессов пайки.

10.3 Большие проводящие поверхности

Большие проводящие поверхности связаны со специфической продукцией и описаны в частных стандартах на проектирование.



Рис.10-2 Оптимизация расположения проводников между контактными площадками

11 Документация

Комплект документации на печатные платы включает обычно основной чертёж, основной чертёж проводящего рисунка или копии фотошаблона (на плёнке или бумаге), сборочный чертеж на печатные платы, перечень компонентов и принципиальную/логическую схему.

Комплект документации может быть выполнен на бумаге или в электронном виде. Все электронные данные **должны** соответствовать требованиям стандартов IPC-2510.

Другая документация может содержать цифровые контрольные данные для сверления, фрезерования, контроля, изготовления фотошаблона, специального инструмента и базу данных. Она должна содержать чертеж и документацию на элементы/требования к трассировке, фотошаблону, к самой печатной плате и к смонтированной печатной плате. Это важно для понимания их взаимосвязи друг с другом, как это показано на Рис.11-1.

Документация на печатные платы **должна** соответствовать требованиям IPC-D-325. Для обеспечения более полной документацией важно ознакомиться с IPC-D-325 и определить все критерии, воздействующие на процесс проектирования. Она должна содержать:

- информацию о компонентах
- информацию о нестандартных компонентах
- основной чертеж
- рабочий фотошаблон
- основной чертеж на проводящий рисунок

11.1 Специальный инструмент

В процессе соответствующего проектирования перед разработкой чертежа **должна** быть рассмотрена необходимость создания специального инструмента в виде фотошаблона или цифровых контрольных данных. Примерами таких инструментов являются:

- Цифровые данные площадок, которые должны быть использованы в качестве контрольной плёнки
- Контрольные контактные площадки глухих и внутренних переходных отверстий для помощи при определении расположения переходных соединений в процессе изготовления слоёв для сложных печатных плат.
- Контрольные контактные площадки переходных отверстий для сложных печатных плат для распознавания отверстий, которые будут сверлиться перед прессованием, и отверстий, которые будут сверлиться после прессования.
- Фотошаблон наружных слоев для помощи при исходном сверлении, обозначения мест сверления в виде точек на фотошаблоне для неметаллизированных сквозных отверстий без контактных площадок, базовой нулевой точки, контура печатной платы, контура купона или контура внутренних фрезеруемых участков.
- Фотошаблон, используемый для удаляемого паяльного резиста, который применяется в некоторых технологических процессах для получения паяльной маски на незащищенной меди. Фотошаблон должен быть предназначен для частичного нанесения паяльного резиста на припой на границе раздела медь/припой.
- Фотошаблон наружного слоя, который может быть использован для облегчения нахождения мест монтажа компонентов.

- Цифровые данные для автоматического ввода данных при сборке.
- Данные для нанесения пасты с использованием шаблона.

11.2 Разработка чертежей

11.2.1 Выполнение чертежей с учетом стороны осмотра платы

Чертежи слоев всегда должны быть выполнены с учётом осмотра платы с главной стороны (primary). Для изготовления фотошаблона требования к расположению слоёв **должны** быть указаны в чертеже (см.IPC-D-310).

Обозначение слоёв платы **должно** соответствовать Рис.11-2. Отличительные характеристики **должны** быть использованы для установления различий между проводниками на разных слоях платы.

11.2.2 Точность и масштаб

Точность и масштаб чертежей слоёв должны быть достаточными для исключения ошибки, когда чертежи будут использоваться для процесса изготовления фотошаблона. Требования могут быть снижены путем строгого соблюдения координатной системы, которая определяет положение всех компонентов на печатной плате.

11.2.3 Записи в чертежах

Разработка чертежей должна быть закончена соответствующими записями, необходимой маркировкой и данными об изменениях. Эта информация должна быть конструктивной для обеспечения понимания всеми, кто будет оценивать (смотреть) чертежи. Записи особенно важны для процесса введения изменений, действий по преобразованию в цифровую форму и в том случае, если документ используется кем-нибудь другим, а не его автором.

11.2.4 Техника автоматической разработки чертежей слоев многослойной платы

Вся информация, приведенная в 11.2.1-11.2.3 может использоваться как для ручной, так и для автоматической разработки чертежей слоёв. Однако если используется автоматическая техника, то существует множество применяемых систем проектирования. Они могут включать использование компьютера для выполнения чертежей, который главным образом помогает в определении компонентов и проводников или может как оптимизировать, так и размещать цифровые логические схемы и компоненты, а также осуществлять трассировку проводников.

Если автоматические системы должны сообщаться одна с другой, то для этой техники рекомендуется использовать стандартные файлы. Разработана серия документов IPC-D-350, IPC-D-356 и IPC-2510 для работы в стандартном формате с целью облегчения обмена информацией между автоматическими системами. Архивные данные должны соответствовать этим документам. Предоставляемые компьютерные данные, являющиеся частью поставочной документации, должны соответствовать требованиям, приведенным в указанных документах.

База данных, полученная с помощью автоматической техники, должна содержать всю информацию, необходимую для изготовления печатных плат. Она должна содержать все необходимые записи, требования к покрытиям, толщину плат и т.д. Для проверки базы данных на соответствие требованиям должен использоваться контрольный план.

11.3 Требования к отклонениям

Любые отклонения от данного стандарта **должны** быть записаны в основном чертеже или в листе согласования отклонений поставщика.

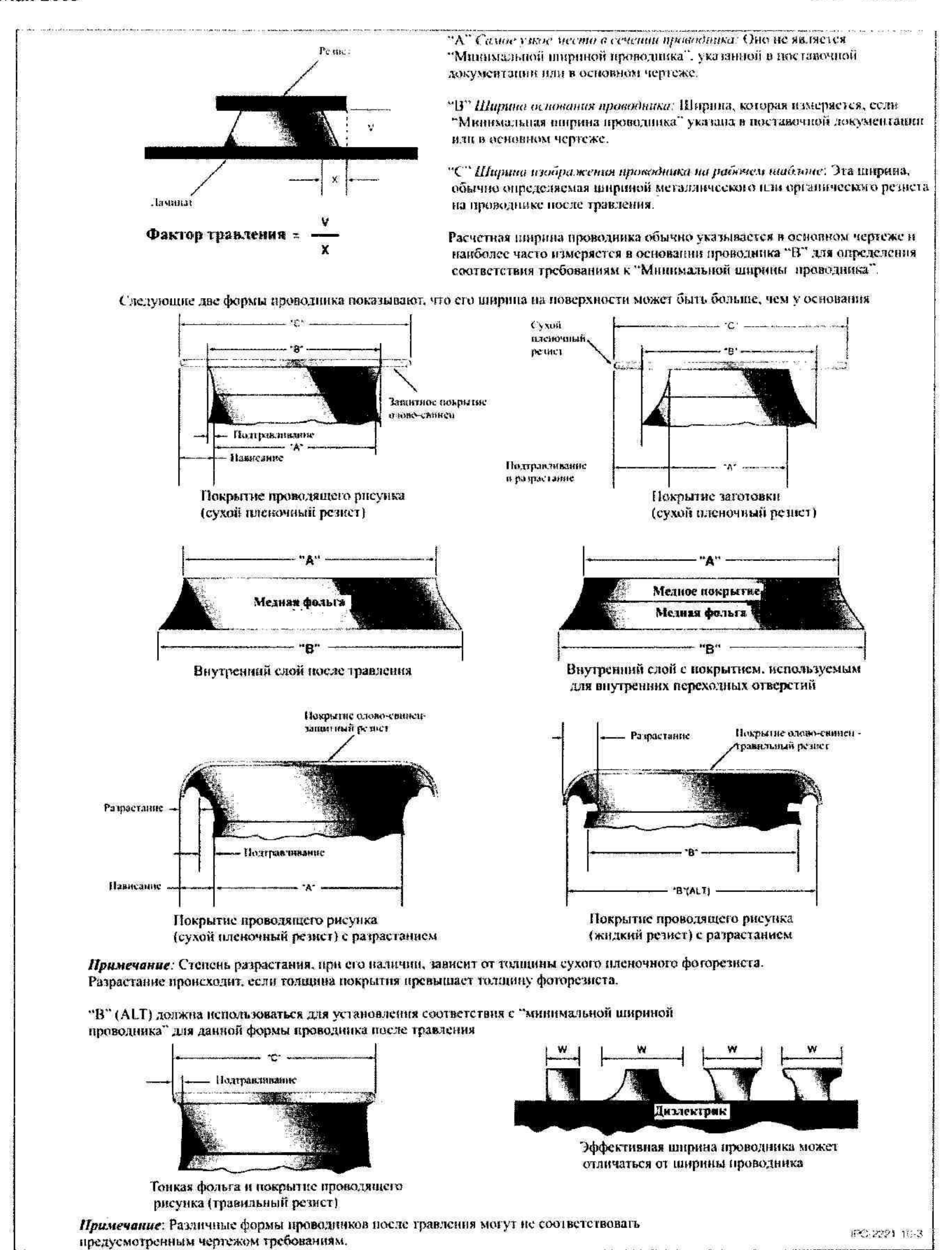


Рис.10-3 Характеристики протравленных проводников

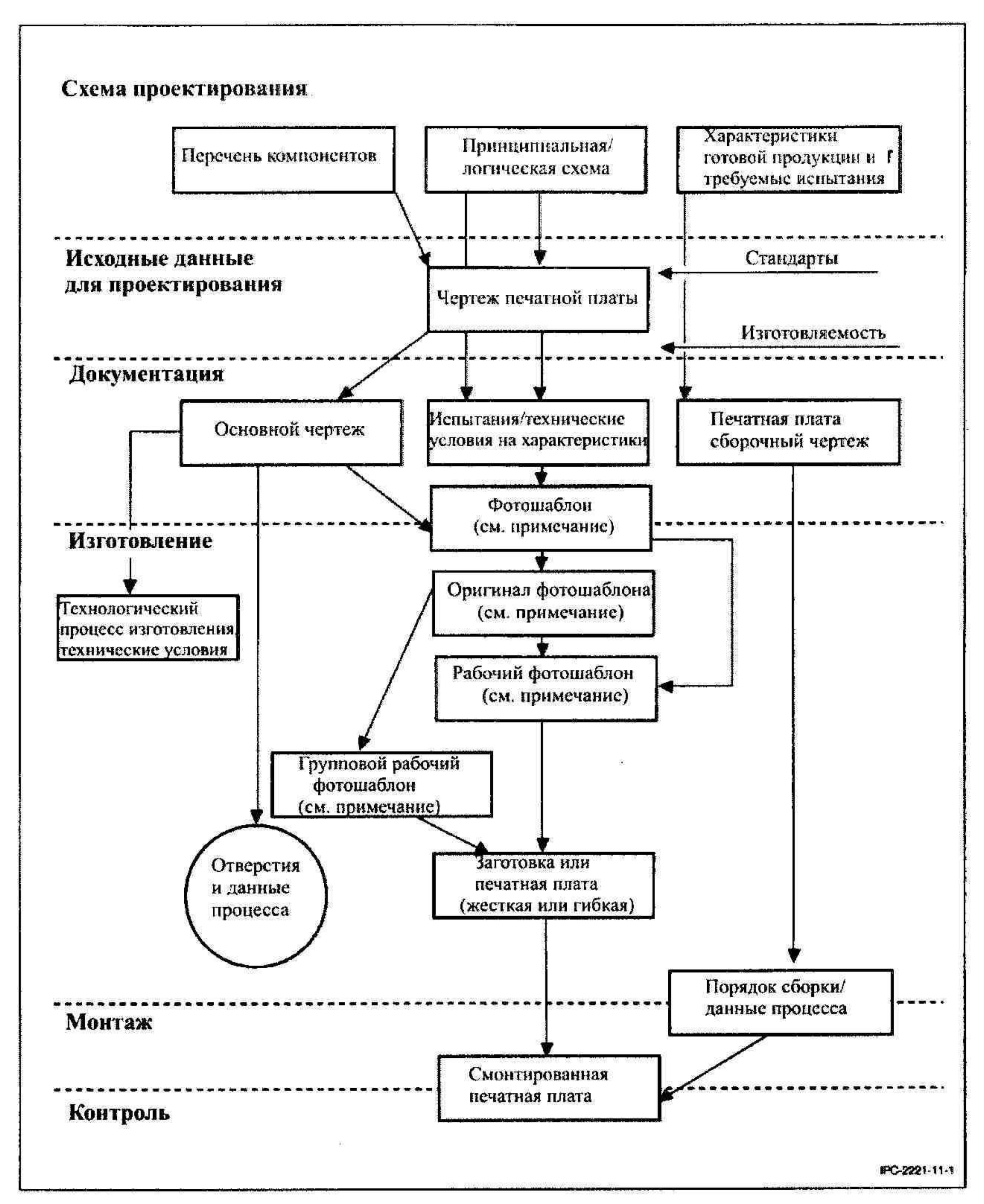


Рис.11-1 Схема проектирования печатной платы/последовательность изготовления

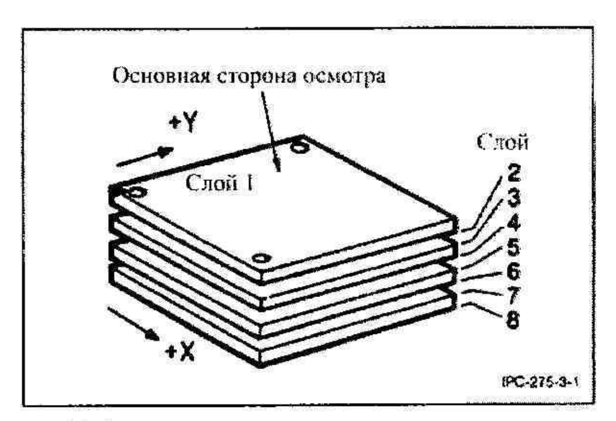


Рис.11-2 Осмотр многослойной платы

11.4 Рассмотрение фотошаблонов

При подготовке фотошаблонов для трафарета или сетки, используемых для нанесения паяльной пасты, могут применяться как одинаковая конфигурация рисунка контактной площадки, так и одинаковые номинальные размеры.

11.4.1 Файлы фотооригинала

Электронные данные файла или другие альтернативные средства информации, которые определяют внешний вид каждого слоя **должны** быть предусмотрены как часть комплекта основного чертежа.

11.4.2 Базовые пленочные материалы

Оригинал фотошаблона, если используется должен быть изготовлен на полиэфирной, биаксиально ориентированной, малоусадочной пленке минимальной толщины 0.165 мм или на стеклянных фотопластинках. Предельные значения общей толщины пленки составляют от 0.18 мм до 0.28 мм. Фотографические стеклянные пластины имеют диапазон толщин от 1.5 мм до 4.75 мм.

11.4.3 Фотошаблоны для получения покрытия паяльным резистом

Фотошаблоны для получения покрытия паяльным резистом могут быть изготовлены двумя методами. Первый метод предусматривает специальный рисунок на фотошаблоне для каждой монтажной площадки, обеспечивающий высвобождения в паяльном резисте большие, чем группа контактных площадок резиста, для создания зазора вокруг проводящего рисунка (см. Рис. 11-3). Кроме того, зазор может потребоваться между фоторезистом и краем платы у монтажных отверстий и реперных знаков.

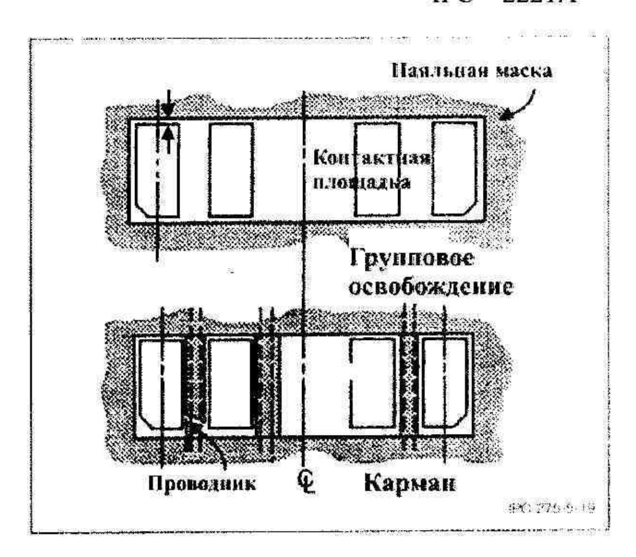


Рис.11-3 Окна в паяльном резисте

Второй метод предусматривает такую же форму окон в паяльном резисте, используемом при изготовлении проводящего рисунка. При этом методе изготовитель печатных плат фотометодом расширяет рисунок паяльного резиста для обеспечения необходимого расстояния от паяльного резиста до контактной площадки. Таким образом, один и тот же фотошаблон может использоваться для получения проводящего рисунка, получения окон в фоторезисте и шаблона для нанесения паяльной пасты. Возможность использования одного и того же фотошаблона для трёх этапов техпроцесса повышает точность совмещения на трёх операциях получения изображения, а также сохраняет библиотеку типов символов в управляемых пределах, если используется CAD-система.

При применении этого варианта в основном чертеже должно быть указано максимальное расстояние.

12 Гарантии качества

Для обеспечения гарантий качества должны быть рассмотрены все аспекты проектирования печатных плат. Оценка гарантий качества, связанная с проектированием печатных плат, должна включать следующее:

- Оценку материала
- Проверку соответствия качества
- Оценку процесса контроля

Данный раздел определяет различные образцы, которые должны быть рассмотрены в процессе проектирования. Он также включает рассмотрение рациональности и цели использования каждого образца.

12.1 Испытательный купон для проверки соответствия качества

Испытательный купон, если требуется, **должен** соответствовать данному разделу. Обеспечение га-

рантий качества часто требует использования специфических контрольных процедур или оценок для определения того, соответствует ли отдельная продукция требованиям заказчика или техническим условиям. Некоторые оценки выполняются визуальным способом, другие – посредством разрушающих или неразрушающих испытаний.

Некоторые оценки качества выполняются на испытательных купонах из-за использования деструктивных методов испытаний или с применением натурных испытаний, требующих специфической конструкции, которой не обладает печатная плата. Испытательный купон, используемый для испытаний такого типа, применяется в качестве типичного представителя печатных плат, изготовленных на одной и той же заготовке; однако конструкция и расположение испытательного купона являются критичными для уверенности в том, что этот образец действительно является типичным представителем печатных плат. Для разрушающих испытаний может использоваться производственная плата. Испытания, требующие специфической конфигурации схемы (для контроля сопротивления изоляции), также могут быть выполнены на производственной плате, если соответствующая схема включена в её конструкцию.

12.2 Гарантия качества материала

Обычно проверка материала производится по сертификату изготовителя, подтверждённому данными, основанными на проверке статистической выборки, которой подвергаются все материалы, являющиеся частью готовой продукции, и которые указываются в основном чертеже и/или в поставочной документации.

Купон для проверки соответствия определён в подробных технических условиях на базовый материал. Например, при испытаниях медной фольги определяется прочность при растяжении, пластичность, относительное удлинение, усталостная пластичность, прочность на отрыв и усилие разъединения фольги с носителем.

В большинстве случаев испытательный купон для металлической фольги имеет специфическую длину и ширину.

Тем не менее, технические условия на ламинат требуют, чтобы испытательный купон больше соответствовал характеристикам готовых печатных плат. Для проведения наиболее результативных испытаний методы проверки требуют изготовления купонов специфической геометрии не только при испытаниях прочности на отрыв, водопоглощения и электропрочности. Если конструкция требует проверки материала основания на уровне готовых плат, то испытательный купон используется для установления того, что оценка идентична или похожа на требования, предъявляемые техническими условиями к материалу основания. Некоторые заказчики требуют наличия более одного армирующего слоя и толщины диэлектрика более 0.05мм. Например: Некоторые военные технические условия требуют два армирующих слоя и толщину диэлектрика более 0.09 мм.

Каждая отдельная конструкция допускает минимальную толщину диэлектрика между слоями многослойных печатных плат, согласованную между поставщиком и заказчиком. Если эти требования согласованы, то должен быть представлен испытательный купон для проверки конкретной смолы, содержания смолы, типа стекла, электропрочности и влагостойкости.

12.3 Оценка соответствия качества

Оценка соответствия качества выполняется на производственной плате или на испытательном купоне. Если для оценки соответствия качества выбрана производственная плата, то она должна отвечать требованиям Табл.12.-1. Купон, выбранный для оценки соответствия качества, должен отвечать требованиям данного стандарта. Изготовителем могут быть использованы дополнительные купоны. Испытательный купон **должен** быть прослеживаемым на производственной заготовке.

12.3.1 Качество и расположение купона

Соответствующая испытательная схема должна быть частью каждой заготовки, используемой для изготовления печатных плат, если она требуется поставочной документацией или применяемыми техническим условиями на характеристики. Купоны, приведенные в Табл.12-1, устанавливающей минимальные требования, должны отвечать большей части характеристик технических условий. Для достижения определенного соглашения между поставщиком и заказчиком могут быть спроектированы купоны необходимой конфигурации. Они должны объединять элементы на той же плоскости для гарантии совместимости с другими стандартными купонами и применяемыми техническими условиями. Конфигурация тест-купонов должна быть определена на оригинале, в основном чертеже или добавлена к конструкции оригинала изготовителем для учета требований технических условий на характеристики.

Местоположение купонов объединенной конфигурации должно быть в пределах 12.7 мм от контура печатной платы для отражения характеристик конструкции и покрытия. Рекомендуемое минимальное количество купонов указано в Табл.12-1. Рис.12-1 демонстрирует пример правил расположения купона. Изготовитель может разместить купоны с учетом оптимизации расположения, механической обработки и использования материала.

По крайней мере, одно отверстие в каждом купоне должно быть расположено в одном и том же шаге координатной сетки, что и элементы печатных плат.

Если для прослеживаемости требуется сохранение купона, то рекомендуется, чтобы дополнительные купоны были объединены в группу на общей полоске.

12.3.2 Идентификация образца

Испытательная схема должна предусматривать место для:

- Номера печатной платы и литеры изменений
- Идентификационных данных для прослеживаемости
- Времени изготовления партии в виде кода
- Идентификации изготовителя, например, Commercial and Government Entity (CAGE).

Для обозначения образцов в основном чертеже может быть использована специальная система кодирования.

12.3.3 Основные требования к купону

Испытательные купоны должны отражать специфические характеристики платы. Эта информация должна содержать требования к отверстиям, проводникам, расстоянию и т.д. Если купоны предназначены для установления контроля параметров процесса, они **должны** последовательно использовать один диаметр отверстия или форму контактной площадки, которые характеризуют процесс. Характеристики процесса и основные характеристики плат должны быть соответствующими.

Табл.12-1 Требования к частоте повторения купонов[1]

Назначение купона	Обозначение[2]	Класс 1	Класс 2	Класс 3
Испытание на соответствие				
Имитация доработки	A/B или A	Не требуется	Два на заготовке	Два на заготовке, расположенные в противоположных углах
Термическое воздействие, толщина покрытия и прочность соединения Тип 1	A/B или A или B	Два на заготовке	Два на заготовке в противоположных углах	Два на заготовке в противоположных углах
Термическое воздействие, внутренний слой, целостность соединения	A или A/B	Не требуется	По согласованию между заказчиком и поставщиком	Требуется
Паяемость отверстий	S[3]	Факультативно	Предпочтительно, один на заготовке	Предпочтительно, один на заготовке
Паяемость отверстий	A/B или A	Не требуется	Факультативно	Факультативно
Паяльный резист, тентинг (если используется)	T	Не требуется	Один на заготовке с паяльным резистом	Один на заготовке с паяльным резистом, расположение факультативно
Прочность на отслаивание	C	Не требуется	Один на заготовке, рисунок определяется фотошаблоном	Один на заготовке, рисунок определяется фотошаблоном
Паяльный резист (если используется)	G	Один на заготовке с паяльным резистом, расположение не лимитируется	Один на заготовке с паяльным резистом, расположение не лимитируется	Один на заготовке с паяльным резистом, расположение не лимитируется
Паяемость монтажной поверхности (факультативно для метода поверхностного монтажа)	M	Не требуется	Один на заготовке, положение не лимитируется, рисунок определяется фотошаблоном	Один на заготовке, положение не лимитируется, рисунок определяется фотошаблоном

Табл.12-1 Требования к частоте повторения купонов[1]

Назначение купона	Обозначение[2]	Класс 1	Класс 2	Класс 3
Проверка на соответствие качества				
Прочность на отслаивание Прочность монтажного соединения	N	Не требуется	Один на заготовке, положение не лимитируется, рисунок определяется фотошаблоном	Один на заготовке, положение не лимитируется, рисунок определяется фотошаблоном
Испытание на соответствие				
Имитация доработки	A/B или A	Не требуется	Два на заготовке	Два на заготовке, расположенные в противоположных углах
Термическое воздействие, толщина покрытия и прочность соединения Тип 1	A/B или A или B	Два на заготовке	Два на заготовке в противоположных углах	Два на заготовке в противоположных углах
Термическое воздействие, внутренний слой, целостность соединения	A или A/B	Не требуется	По согласованию между заказчиком и поставщиком	Требуется
Паяемость отверстий	S[3]	Факультативно	Предпочтительно, один на заготовке	Предпочтительно, один на заготовке
Паяемость отверстий	A/B или A	Не требуется	Факультативно	Факультативно
Паяльный резист, тентинг (если используется)	T	Не требуется	Один на заготовке с паяльным резистом	Один на заготовке с паяльным резистом, расположение факультативно
Прочность на отслаивание	C	Не требуется	Один на заготовке, рисунок определяется фотошаблоном	Один на заготовке, рисунок определяется фотошаблоном
Паяльный резист (если используется)	G	Один на заготовке с паяльным резистом, расположение не лимитируется	Один на заготовке с паяльным резистом, расположение не лимитируется	Один на заготовке с паяльным резистом, расположение не лимитируется
Паяемость монтажной поверхности (факультативно для метода поверхностного монтажа)	M	Не требуется	Один на заготовке, положение не лимитируется, рисунок определяется фотошаблоном	Один на заготовке, положение не лимитируется, рисунок определяется фотошаблоном
Проверка на соответствие качества				
Прочность на отслаивание Прочность монтажного соединения	N	Не требуется	Один на заготовке, положение не лимитируется, рисунок определяется фотошаблоном	Один на заготовке, положение не лимитируется, рисунок определяется фотошаблоном

Табл.12-1 Требования к частоте повторения купонов[1] (продолжение)

Назначение купона	Обозначение[2]	Класс 1	Класс 2	Класс 3
Поверхностное сопротивление изоляции	H	Один на заготовке, расположение не лимитируется	Два на заготовке в противоположных углах	Два на заготовке в противоположных углах
Влажность и сопротивление изоляции	E	Один на заготовке, расположение не лимитируется	Два на заготовке в противоположных углах	Два на заготовке в противоположных углах
Контроль процесса (факультативно)				
Совмещение (Опция 1 или 2)	F	Не требуется	Четыре на заготовке на противоположных сторонах, определяемые фотошаблоном	Четыре на заготовке на противоположных сторонах, определяемые фотошаблоном
Совмещение (факультативно)	R	Не требуется	Четыре на заготовке на противоположных сторонах, определяемые фотошаблоном	Четыре на заготовке на противоположных сторонах, определяемые фотошаблоном
Сопротивление внутренних соединений (факультативно)	D	Не требуется	Один на заготовке, расположение не лимитируется, рисунок определяется фотошаблоном	Один на заготовке, расположение не лимитируется, рисунок определяется фотошаблоном
Способность к изгибу, стойкость к изгибу (опция 1 или 2)	X	Факультативно, рисунок определяется фотошаблоном	Факультативно, рисунок определяется фотошаблоном	Факультативно, рисунок определяется фотошаблоном

[1]При необходимости изготовления дополнительных купонов для определения импеданса следует руководствоваться IPC-D-317 и IPC-2141

[2]Если возможно, при необходимости оценки соответствия качества для идентификации купонов используйте указанные буквы.

[3]См. IPC-J-STD-003

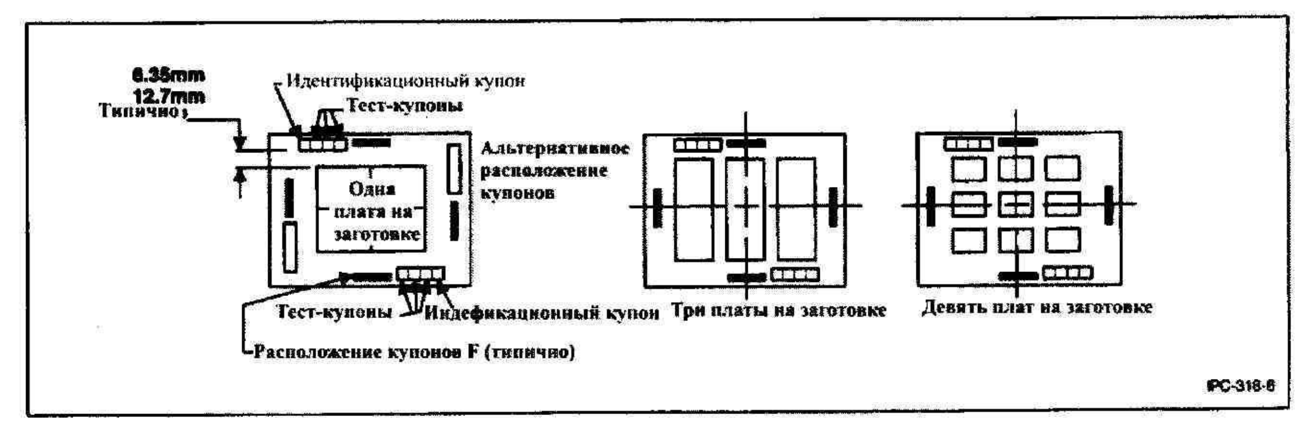


Рис.12-1 Расположение испытательной схемы

12.3.3.1 Допуски

Допуски на изготовление испытательных купонов **должны** быть такими же, как для печатных плат.

12.3.3.2 Буквы, выполненные травлением

Буквы, выполненные травлением, являются только ссылочными.

12.3.3.3 Отверстия для соединения внутренних слоев

Когда многослойная конструкция имеет внутренние соединительные отверстия в виде глухих и внутренних переходных отверстий, купоны А, В и D **должны** быть спроектированы таким образом, чтобы объединенные отверстия этих типов соединяли соответствующие слои. Описание отдельных купонов содержит информацию о том, как эти отверстия должны быть соединены. Конкретное количество отверстий для оценки должно быть не менее трех на каждом отдельном купоне, а количество испытательных купонов на каждой отельной заготовке должно быть не менее двух.

12.3.3.4 Металлическое основание

Если в конструкции многослойной платы используется металлическое основание, такое же основание **должно** быть включено в конструкцию купона.

Если металлическое основание имеет внутренние соединительные отверстия, проходящие через металлическое основание, не контактируя с ним, то конструкция купона **должна** иметь такие же характеристики. Если отверстия соединяются с основанием, такое же соединение **должно** быть предусмотрено в купоне. Количество отверстий в купоне для оценки **должно** быть не менее трёх, а количество купонов – не менее двух на каждой отдельной заготовке. Для горизонтальных микрошлифов могут потребоваться отдельные купоны А и В.

Для составной печатной платы **должен** быть предусмотрен отдельный купон для верхней стороны платы, для нижней стороны и для составной платы. Купон для составной платы **должен** включать металлическое основание.

12.4 Конструкция индивидуального купона

Индивидуальные тест-купоны предназначены для оценки специфических индивидуальных характеристик печатных плат, которые они представляют. IPC-100103 и IPC-100043 обеспечивают изготовление комплекта оригиналов фотошаблонов на основании IPC-A-47 и IPC-A-43 соответственно. Отклонения в конструкции установленных купонов должны во всех отношениях соответствовать исходной конструкции платы и представлять ее.

12.4.1 Купоны А и В или А/В (Оценка металлизированных отверстий, температурного воздействия и имитации доработки)

Версия А IPC-2221 ввела понятие купон А/В. Это было сделано для предоставления одного купона для конструктора или изготовителя платы, которые не хотят делать микрошлифы двух отдельных купонов для проверки больших и маленьких отверстий. Это объединяет большую часть вопросов, решаемых с помощью купонов А и В, в одном купоне. Купоны А и В приемлемы для существующих конструкций, но должны быть модернизированы для практического использования изготовителем. Второй ряд отверстий на купоне А/В обеспечивает осмотр маленьких и больших отверстий для оценки сквозных металлизированных отверстий и испытаний на термическое воздействие. Внешний ряд отверстий предназначен для оценки отверстий после испытаний на имитацию доработки монтажных отверстий.

Эти купоны используются для оценки металлизированных отверстий, установленных в применяемых технических условиях на характеристики. На Рис.12-2 и 12-4 приведены основные формы купонов для сквозных отверстий. На купонах внешних слоев между маленькими отверстиями могут быть включены проводники. Эти поверхностные проводники предусмотрены только для облегчения установки купонов, для сохранения ориентации оси отверстий после шлифовки и для информации о плоскостности. Использование их для проверки качества не рекомендуется. Соотношение контактная площадка/отверстие **должно** представлять конструкцию платы в пределах купона, исключая те случаи, когда установленное соотношение минимальная контактная площадка/максимальное отверстие выходит за минимально допустимые пределы, что проиллюстрировано Рис.12-4. В этом случае выбирается следующий приемлемый размер, применяемый в конструкции. Изображенные слои **должны** представлять конструкцию печатных плат, например, размер площадки и поверхность слоев, за исключением того, что нефункциональные контактные площадки **должны** быть включены во все слои для анализа целостности конструкции, включающего совмещение, кольцевую площадку, разрыв межсоединений. Номера слоев располагаются на купоне для указания ориентации оси, если используется горизонтальная установка и шлифовка. Наличие номеров слоев должно быть скомпенсировано на каждом последующем слое для предотвращения утолщения, как показано на Рис.12-4. Испытание на термическое воздействие используется для выявления расслаивания или растрескивания металлизированного отверстия. Это испытание необходимо как для монтажных, так и для переходных отверстий.

Для испытаний на имитацию доработки тест-купон A/B или купон A **должны** содержать монтажные отверстия с максимальным диаметром, имеющимся на печатной плате, и связанные с ними контактные площадки, расположенные в шаге координатной сетки 2.54 мм для отверстий с максимальным диаметром 1.905 мм. Это связано с тем, что металлизированные отверстия большого диаметра наиболее склонны к межслойным расслоениям в результате влияния высокого радиального усилия и изгибающего момента, воздействующего на межслойные соединения внутренних слоев вблизи поверхности печатных плат. Для подробных разъяснений причин расслоения на внутренних слоях см. IPC-TR-486.

Если испытаниям на растрескивание подвергается металлизированное отверстие (пистон), то тест-купон A/B или купон B **должны** содержать отверстия, соответствующие переходному отверстию с наименьшим диаметром, имеющимся на печатной плате и с контактной площадкой, связанной с этим отверстием, диаметр которого снижен до минимального значения 0.15 мм. Эти испытания необходимы в связи с тем, что сквозные металлизированные отверстия с наименьшим диаметром и высоким коэффициентом соотношения наиболее сложны для нанесения покрытия и подвержены воздействию большего усилия на металлизированные пистоны вблизи центральной оси Z печатной платы. Для тест-купона A/B особое внимание следует уделять глубине шлифовки для гарантии того, что будет оценен требуемый наименьший диаметр отверстий. Подробные сведения о надежности отверстий малого диаметра приведены в IPC-TR-579. Обозначение границы контура купона на первом слое является необязательным и может выполняться сеткографическим способом или травлением. Контур может быть сплошным или прерывистым для согласования расположения установочных отверстий для автоматического шлифовального оборудования.

Для глухих и внутренних переходных отверстий межсоединений **должен** быть предусмотрен как минимум один дополнительный купон B или A/B для представления наиболее сложной конструкции. В качестве примера на Рис.12-3 приведено использование купона B, а на Рис.12-5 приведен пример использования дополнительного купона A/B.

Примечание: Для испытаний на паяемость предпочтительным является использование купона S (см. 12.4.9 и Рис. 12-20). Купон A/B или купоны A и B не требуются для металлизированных отверстий при использовании технологии поверхностного монтажа (см.12.4.7 и Рис.12-7). Рис.12-2 и 12-4 иллюстрирует типичное расстояние до участков с большими металлическими поверхностями согласно минимальному чертежному значению.

12.4.2 Купон C (прочность на отслаивание)

Этот купон используется для оценки прочности на отслаивание металлической фольги. Чертёж этого купона приведён на Рис.12-6.

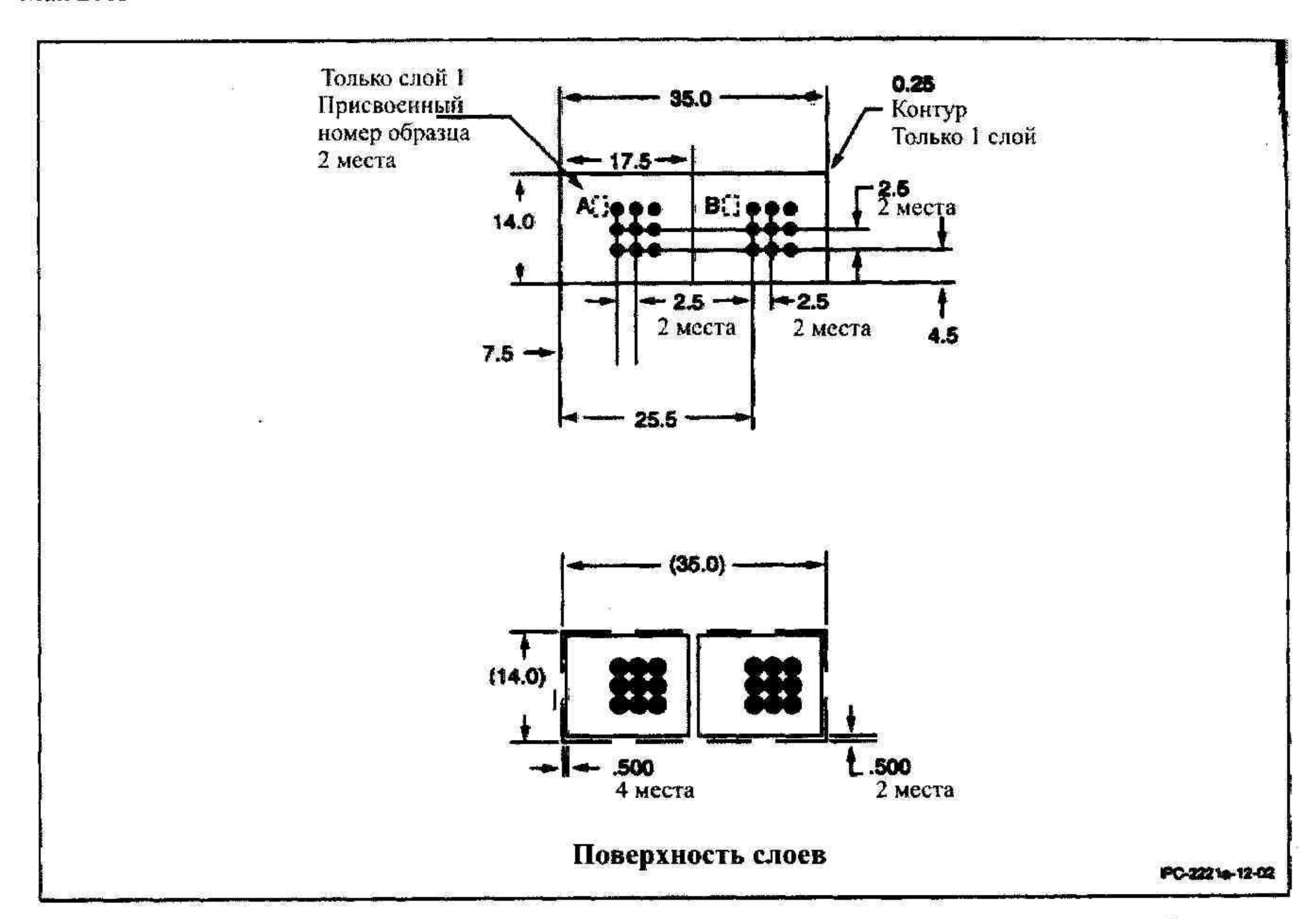


Рис.12-2 Тест-купоны А и В, мм

12.4.3 Купон D (сопротивление и целостность межсоединений)

Тест-купон D используется для оценки сопротивления, целостности межсоединений, правильности сборки и других характеристик. На Рис.12-7 показан пример купона D. На Рис. 12-8 приведена модификация купона D для внутренних переходных отверстий.

12.4.3.1 Испытание на соответствие качества

Для испытаний на соответствие качества количество слоёв, сборка, форма слоёв и используемые нефункциональные контактные площадки **должны** быть модифицированы для отражения конструкции платы. Размер контактной площадки **должен** соответствовать её размеру на печатной плате, диаметр отверстия **должен** быть наименьшим из используемых на печатной плате, за исключением A1, A2 и B2, диаметр которых **должен** быть минимум 0.75 мм. Т.к. наименьшие представленные отверстия наиболее трудны для выполнения требований, предъявляемых к металлизации, то это будет гарантией того, что результат оценки с использованием купона D будет соответствовать характеристикам с наибольшими отклонениями. Длина купона будет меняться в зависимости от количества слоёв. Типичный пример модифицированного десятислойного купона D, включающего глухие и внутренние переходные отверстия, приведён на Рис.12-7 и 12-8. Как правило, проводник **должен** проходить от отверстий A1/A2 к отверстиям B1/B2 и **должен** быть расположен симметрично относительно центральной линии купона.

Проводники **не должны** проходить сквозь купон, а предпочтительно располагаться так, чтобы быть самостоятельными (изолированными) на возможно большем протяжении. Максимальное количество отверстий на купоне не лимитируется; тем не менее, минимальное количество отверстий **должно** быть равно двукратному количеству слоев плюс четыре (для отверстий A1, A2, B1 и B2). За исключением слоёв с большой поверхностью металла (plane), должно быть как минимум два проводника для каждого слоя спроектированной печатной платы, по одному на каждой стороне от центральной линии. Если на внешних слоях нет проводников, соединения **должны** выполняться для слоя 2 и слоя n-1 соответственно.

За исключением проводников слоя 1, соединяющих отверстия A1/A2 до 01 и B1/B2 до 24 соответственно, ширина проводника на каждом слое **должна** соответствовать минимальной ширине, используемой на том же слое печатной платы. Проводники на слое1, используемые для создания соединения с отверстиями 01 и 24, должны иметь размер, доста-

точный для отверстия диаметром А1/А2 и В1/В2 и достаточный для присоединения к измерительному оборудованию прецизионного сопротивления. Конструкция основания и покрытые слои должны соответствовать печатной плате, например, специфические слои с цепями земли, слои с удаленными нефункциональными контактными площадками и т.д. В конструкцию купона должны быть включены глухие и внутренние переходные отверстия.

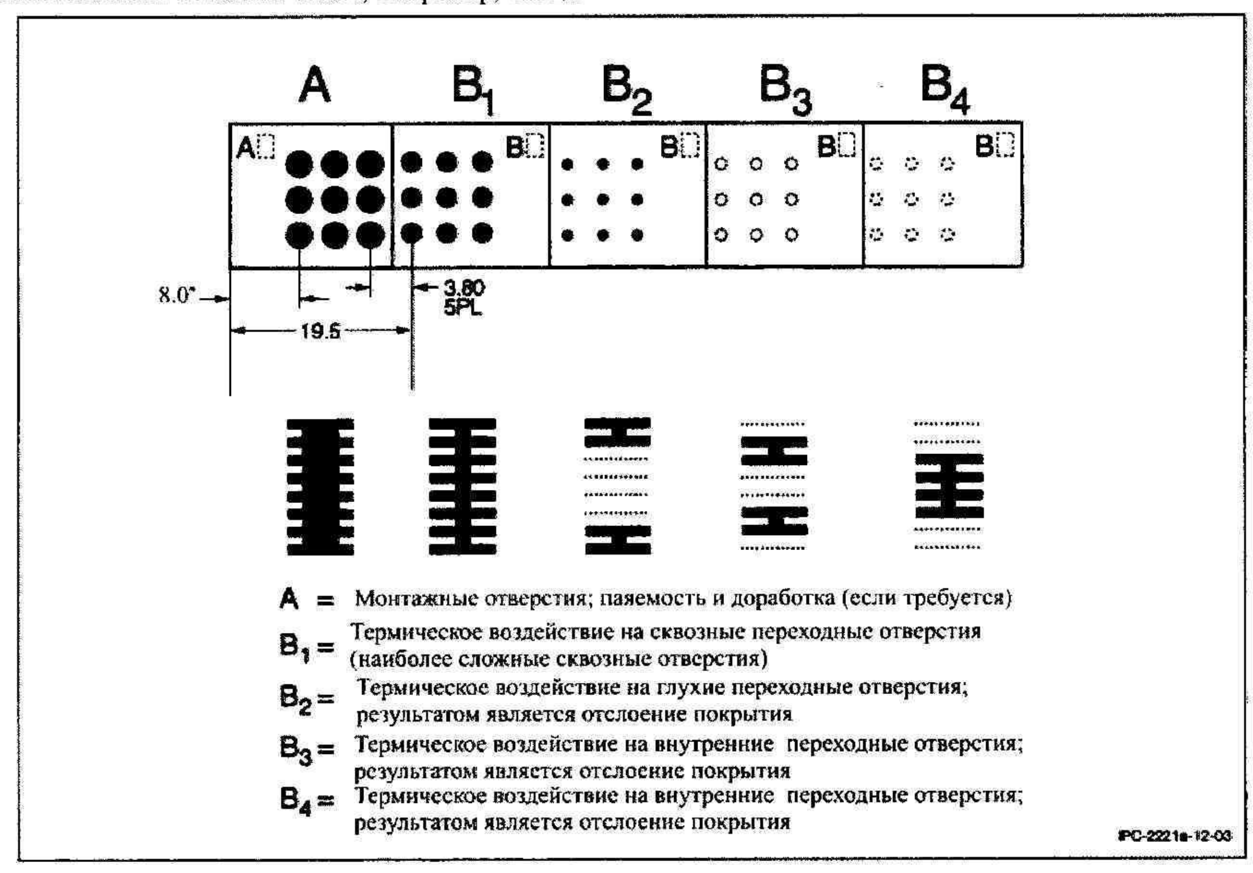


Рис.12-3 Тест-купоны А и В (проводящие элементы)

12.4.3.2 Контроль процесса

В качестве примера купона для контроля процесса см. Рис.12-9.

12.4.4 Купоны Е и Н (сопротивление изоляции)

Эти купоны используются для оценки сопротивления изоляции, объёмного сопротивления и чистоты материала после циклического воздействия повышенной температуры и влажности при требуемом напряжении. Купоны также могут быть использованы для оценки электропрочности диэлектрика.

Конструкция купона **должна** соответствовать Рис.12-10 или Рис.12-11, за исключением требований, приведенных ниже. Минимальный диаметр площадки **должен** определяться монтажным отверстием, а если монтажных отверстий нет, то должен соответствовать минимальному диаметру площадки отверстия диаметром 0.50 мм. Парные отверстия и проводники должны быть предусмотрены для всех слоев купона.

Если проводящий рисунок используется для поверхностного монтажа, то для оценки сопротивления изоляции и чистоты несмонтированной печатной платы после нанесения паяльного резиста может использоваться дополнительный купон. Проводящий рисунок в виде "Y" может успешно использоваться для оценки сопротивления изоляции и чистоты. В большинстве случаев купоны под большими поверхностно-монтируемыми компонентами **должны** иметь комбинированный проводящий рисунок. На Рис.12-12 приведено несколько комбинированных проводящих рисунков для оценки контактных площадок, используемых для поверхностного монтажа. Эти купоны могут быть выполнены непосредственно на плате в качестве резервного места для компонента или могут быть предусмотрены на заготовке в виде дополнительного купона для оценки при сборке поверхностно-монтируемых компонентов. Если проводящий рисунок в виде "Y" предназначен для ЧИП-компонента, место слева может быть свободно или может быть заполнено рисунком для оценки чистоты/сопротивления изоляции, отражающих свойства несмонтированной печатной платы, или для оценки чистоты/сопротивления изоляции после монтажа (см. Рис.12-13).

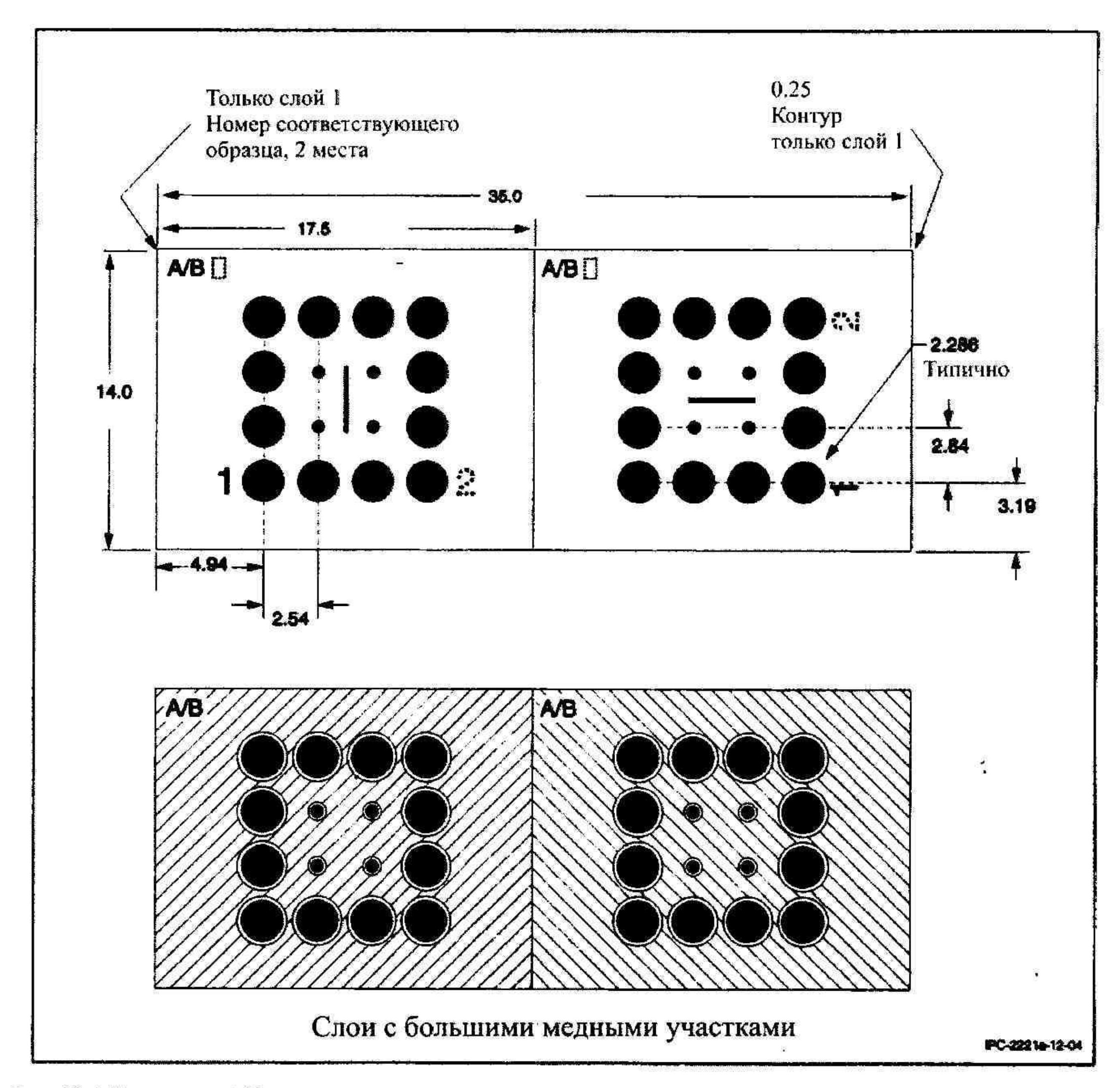


Рис. 12-4 Тест-купон А/В, мм

12.4.4.1 Купон Е

Купон Е используется для многоцелевых испытаний. Он менее чувствителен к наличию грязи и ионных загрязнений. Основное назначение купона показано на Рис.12-10.

12.4.4.2 Купон Н

Купон используется для испытаний изоляции аппаратуры наиболее высокого уровня, такой как телекоммуникационная аппаратура. Типичная конструкция приведена на Рис.12-11. Сложный проводящий рисунок требует применения наиболее интенсивных методов очистки. Этот купон не рассматривался в IPC-6012. Если он используется, то методы испытаний и критерии оценки характеристик **должны** быть указаны в поставочной документации.

12.4.5 Купон для контроля совмещения

Целью определения точности расположения купона является оценка внутренней кольцевой контактной площадки. Если купоны А или В или А/В используются для оценки совмещения, то требуется изготовление микрошлифа по оси X и Y. Хотя для оценки расположения могут использоваться образцы А и В, метод испытаний требует изготовления сложного микрошлифа. Купон F и купон R предназначены для контроля с использованием альтернативных электрических, рентгеновских или визуальных методов.

Размеры купонов, приведенных на Рис.12-14 и Рис. 12-15, используются только при квалификационных испытаниях.

Купон F используется для оценки совмещения слоёв и кольцевой контактной площадки без изготовления микрошлифов.

Преимущество купона R состоит в том, что он может использоваться для оценки кольцевой контактной площадки с помощью рентгеновских лучей после сверления, он обеспечивает быструю электрическую проверку наличия требуемой кольцевой площадки и обеспечивает цифровые измерения кольцевой площадки, что делает этот метод эффективным для контроля процесса. Недостатком является то, что для каждого слоя должен быть известен фактор травления, рентгеновский метод должен иметь разрешение менее 0.025 мм, а для каждого слоя должна быть представлена отдельная контактная площадка и купон может быть оценен электрически не раньше, чем отверстия будут металлизированы.

Для оценки несовмещения слоёв могут быть использованы купоны F или R, или их комбинация. Купон **должен** быть расположен близко к плате на краю заготовки, близко к центру горизонтального или вертикального края, где в наибольшей степени происходит смещение материала (см. 12-1).

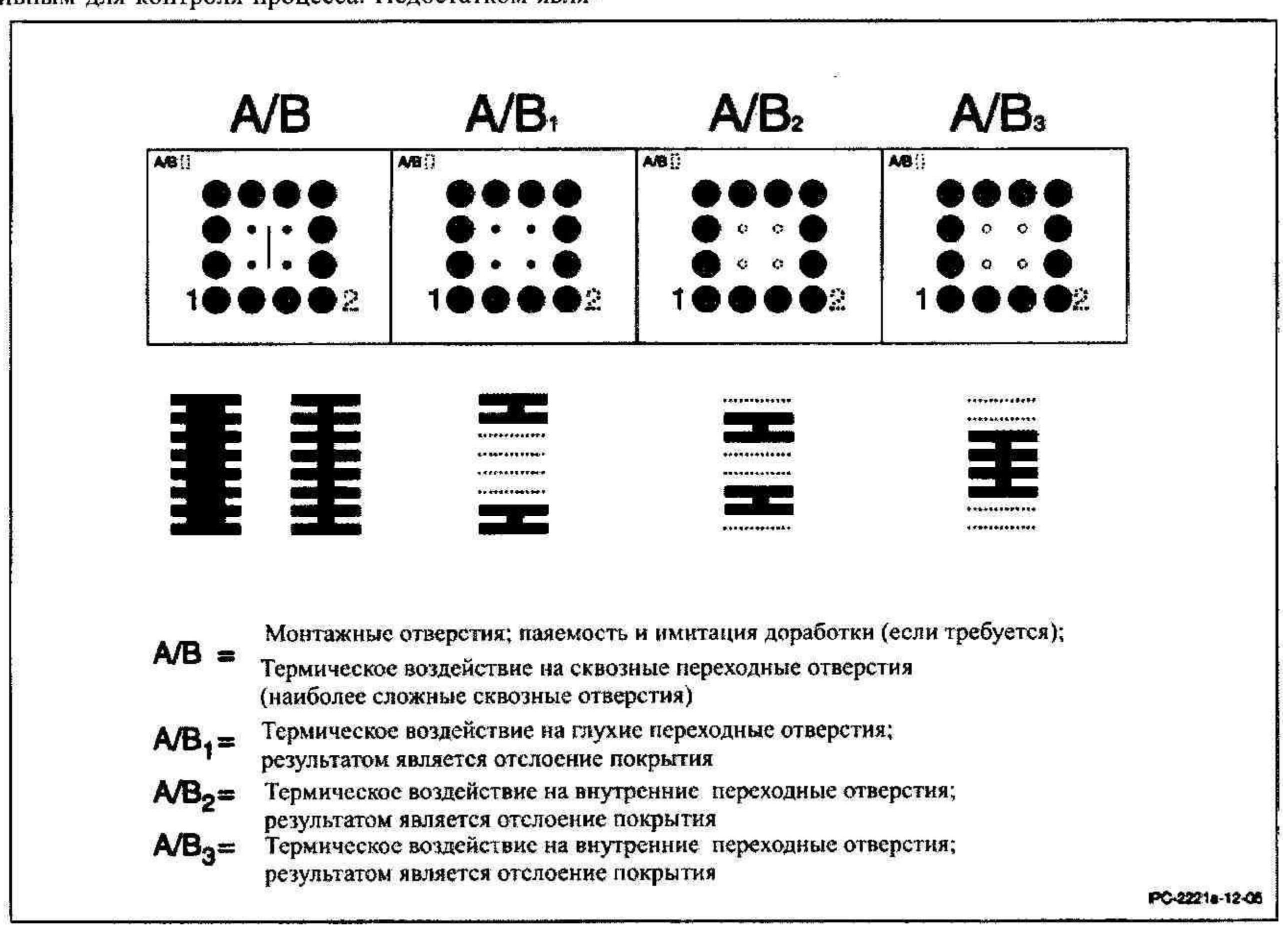


Рис.12-5 Тест-купон A/B (проводящие элементы), мм

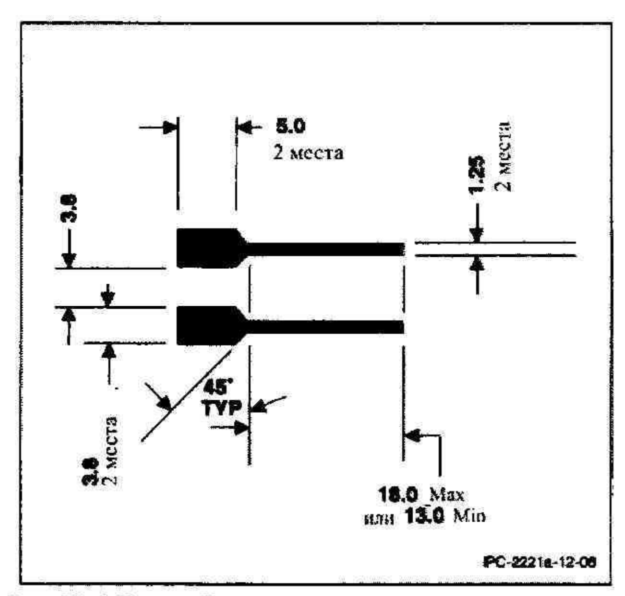


Рис.12-6 Купон C, только внешние слои, мм

12.4.5.1 Купон F, испытание на соответствие качества (Вариант 1)

Конструкция купона **должна** соответствовать Рис.12-14 с диаметром отверстия, выбираемым изготовителем. Размер контактной площадки для этого варианта включает кольцевую площадку. Конструкция печатной платы должна быть представлена купонами, содержащими укрепляющее основание и слои с покрытием. Преимуществом данного варианта является то, что купон может быть оценен немедленно после сверления и рассмотрение фактора травления не является необходимым. Недостатком является то, что для измерения кольцевой площадки требуется рентгеновский метод с разрешением меньше 25 мкм.

Контактную площадку необходимо размещать на каждом слое. Если изготовитель захочет использовать другой диаметр отверстия, то размер контактной площадки должен быть рассчитан отдельно для каждого внутреннего слоя с использованием формулы, приведенной в 9.1.1.

Купон может быть оценен после сверления на наличие разрыва с использованием рентгеновских лучей или может быть проверен на целостность кольцевой площадки просверленного отверстия с использованием отраженного света после очистки отверстия или обратного травления.

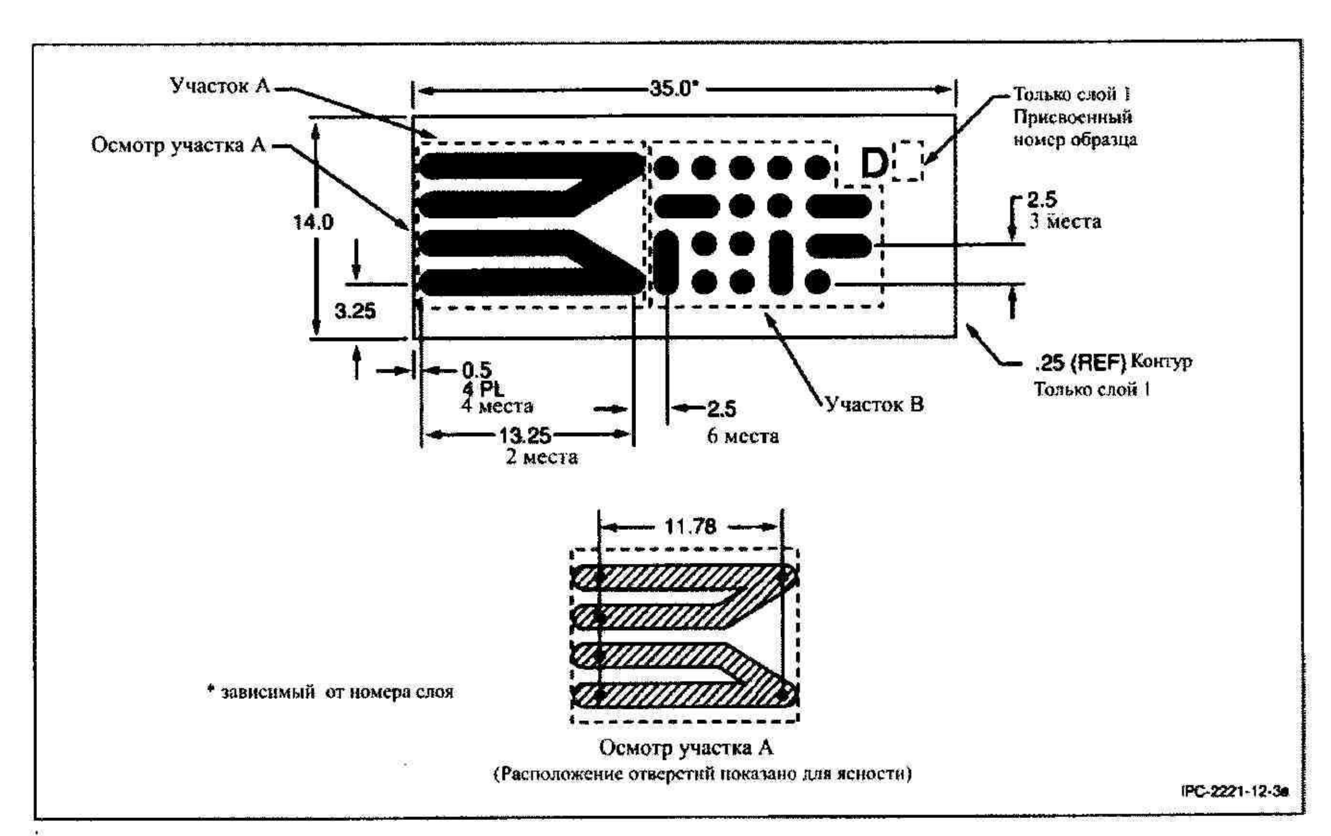


Рис.12-7 Тест-купон D, мм

12.4.5.2 Купон F Испытания на соответствие качества (Вариант 2)

Конструкция купона **должна** соответствовать Рис.12-4 с учетом диаметра, выбранного изготовителем. Размер контактной площадки для варианта 2 включает размер кольца. Конструкция печатной платы **должна** быть представлена купонами, содержащими укрепляющее основание и слоями с покрытием. Преимуществом данного варианта является то, что купоны могут быть оценены на наличие разрыва контактной площадки после сверления с помощью рентгеновских лучей, оценка может быть выполнена после обратного травления или очистки отверстия с помощью визуальной проверки, а фактор травления может не учитываться. Эта концепция предусматривает размещение контактной площадки на каждом слое. По желанию изготовителя можно использовать другой диаметр отверстия; размер контактной площадки **должен** быть рассчитан отдельно для каждого внутреннего слоя с использованием формулы, приведенной в 9.1.1. Купон может быть оценен после сверления на наличие разрыва с использованием рентгеновских лучей или купоны могут быть проверены после очистки отверстий или обратного травления на целостность контактной площадки в просверленном отверстии с использованием стола с нижней подсветкой.

12.4.5.3 Купон R и испытание на соответствие качества

Типичная конструкция купона показана на Рис.12-15. Размеры отверстия и внешних контактных площадок выбираются изготовителем. На внутренних слоях купона используется рисунок из 10 отверстий с межцентровым расстоянием 2.5 мм, проходящих через медную поверхность с концентрическими высвобождениями в медной фольге вокруг 9 отверстий. Диаметры высвобождений для первых 9" отверстий имеют пошаговый прирост в 0.05 мм. Для десятого отверстия высвобождения нет, так что отверстие будет соединено с медной поверхностью. Участок высвобождения **должен** быть рассчитан для наихудшего случая положения диаметра отверстия относительно диаметра площадки для различных слоёв. Т.к. производственные допуски меняются от слоя к слою (см. Рис.12-16), то диаметр высвобождений на фотошаблоне **должен** быть рассчитан для каждого внутреннего слоя отдельно следующим образом:

Диаметр высвобождения = номинальный диаметр просверленного отверстия + производственный допуск

Производственный допуск = наименьшая разница между любым функциональным металлизированным отверстием и контактной площадкой на данном слое – 2 кольцевые площадки.

Оценку купона можно делать только после определения фактора травления для каждого слоя. Фактор травления **должен** быть определен перед прессованием следующим образом:

Подтравливание (на диаметр) = диаметр высвобождения после травления - диаметр высвобождения на фотошаблоне.

Рассматриваемое отверстие для оценки кольцевой площадки может оказаться слева или справа от центра высвобождения в зависимости от фактора травления. Например, если фактор травления равен +0.1 мм, рассматриваемое отверстие должно быть вторым отверстием справа от центра высвобождения. Если фактор травления составляет -0.05 мм, то рассматриваемое отверстие должно быть первым отверстием слева от центра высвобождения.

Купон может оцениваться после сверления измерением кольцевой площадки с использованием рентгеновских лучей. Для возможности использования рентгеновского метода измерения отверстие не должно касаться поверхности с медной фольгой (plane).

Купоны предназначены для измерения кольцевой площадки после металлизации отверстия. Купоны считаются приемлемыми, если отсутствует электрическое соединение между рассматриваемым отверстием и десятым отверстием. Размер кольцевой площадки может быть определён нахождением первого отверстия, которое имеет электрическое соединение с десятым отверстием и записью его местоположения относительно рассматриваемого отверстия. Каждое отверстие влево или вправо от рассматриваемого отверстия означает + 0.025 мм или – 0.025 мм соответственно для рассматриваемой кольцевой площадки. Данный купон не рассматривался в IPC-6012. Если он используется, то метод испытания и критерии оценки характеристик должны быть указаны в поставочной документации.

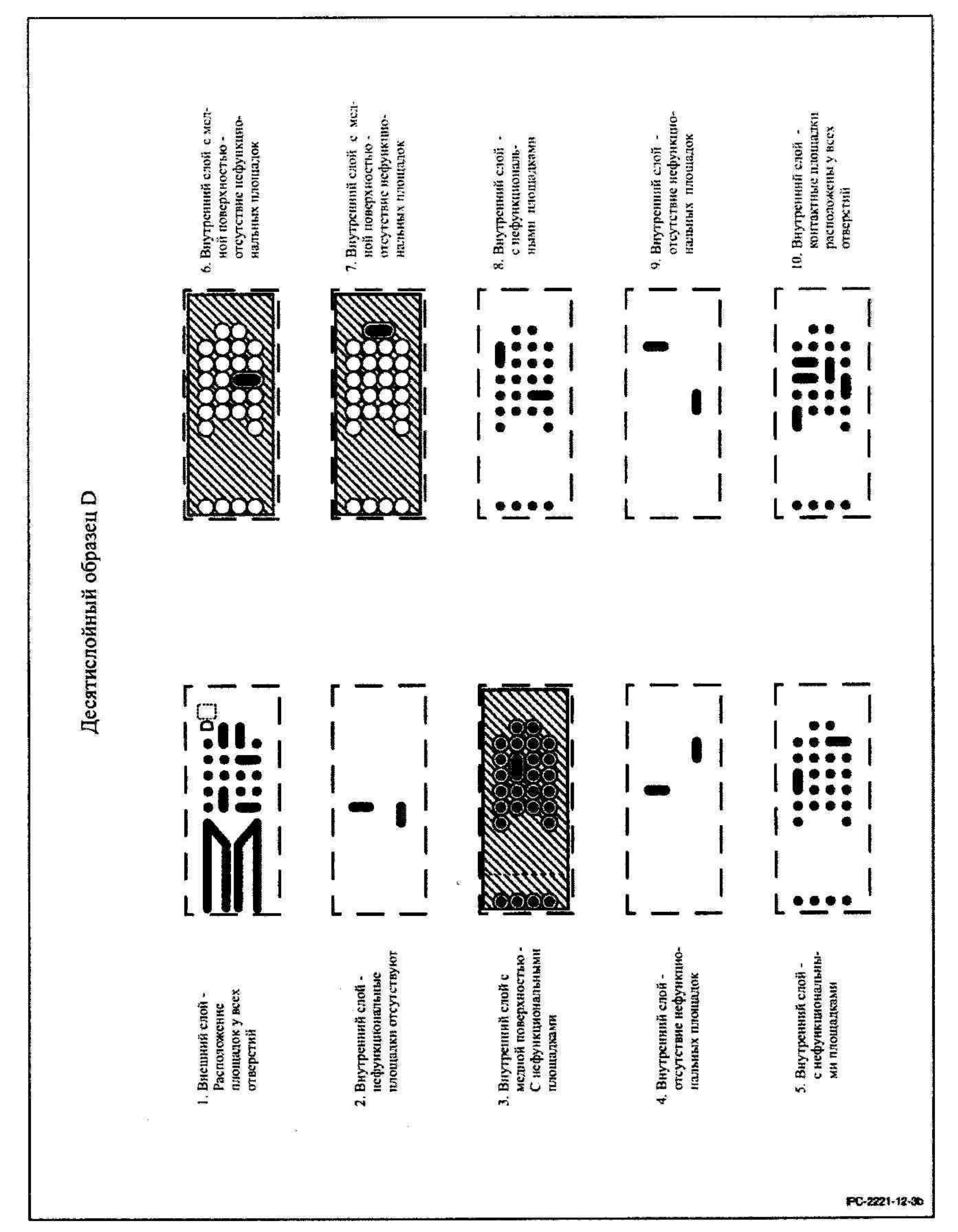


Рис.12-7 (продолжение) Пример десятислойного купона

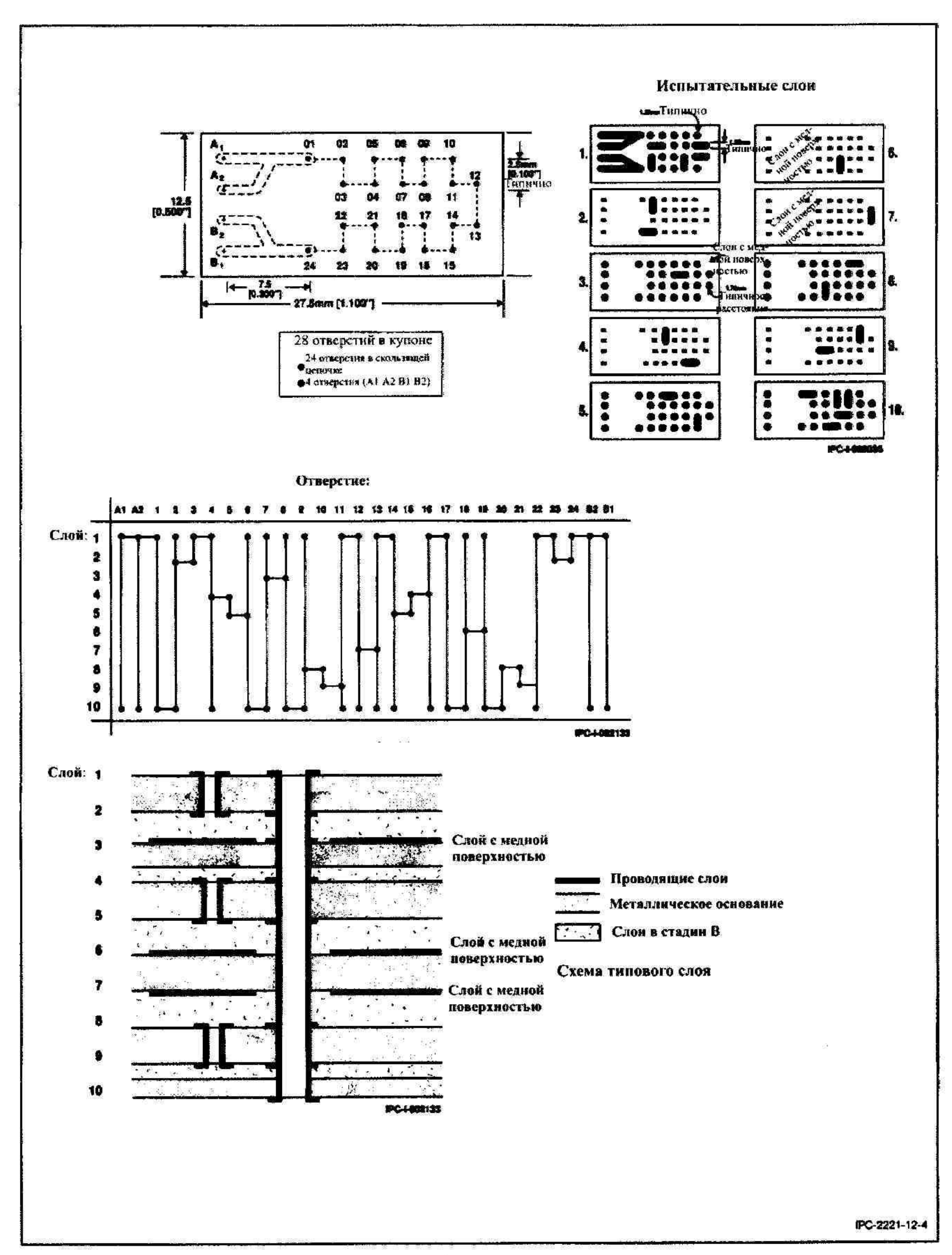


Рис.12-8 Пример десятислойного купона D, модифицированного для включения глухих и внутренних переходных отверстий

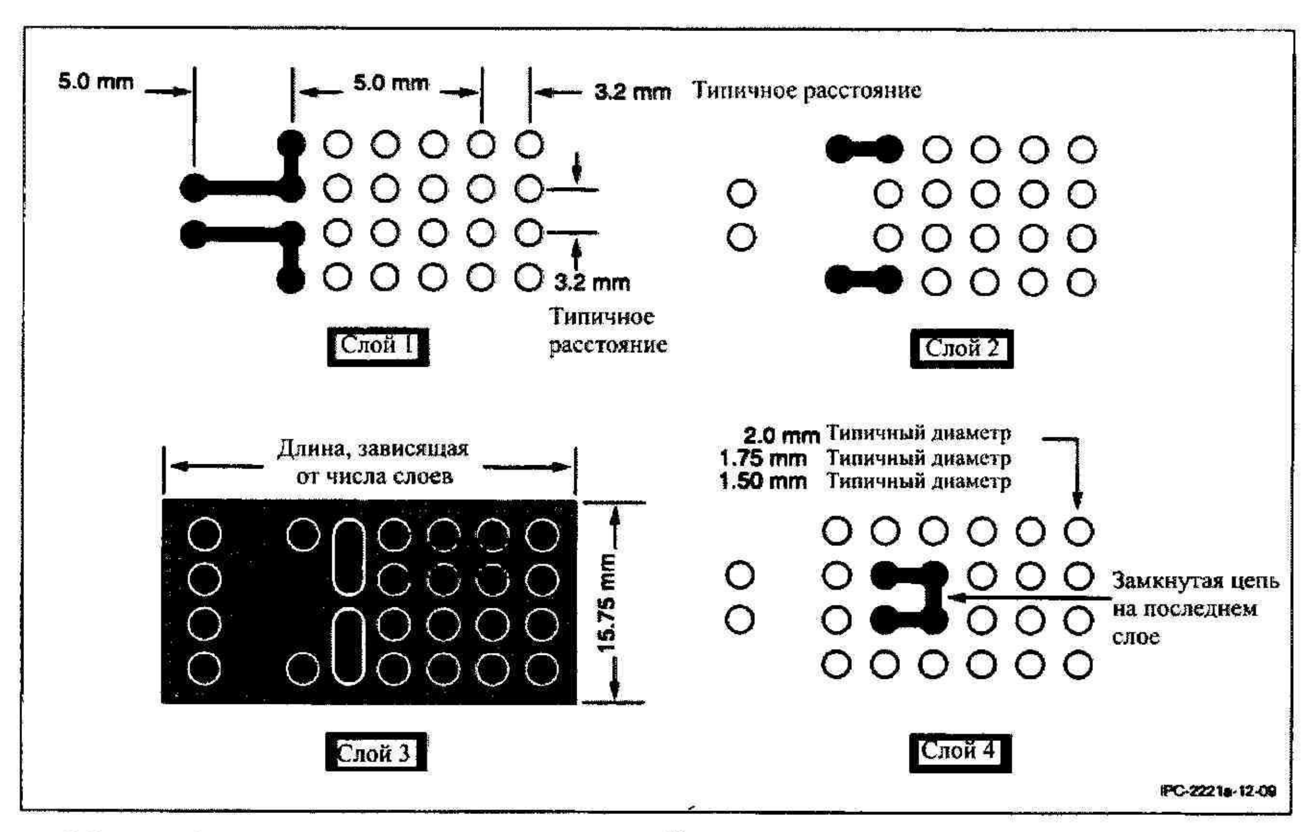


Рис.12-9 Купон D для контроля процесса изготовления 4х слойной платы

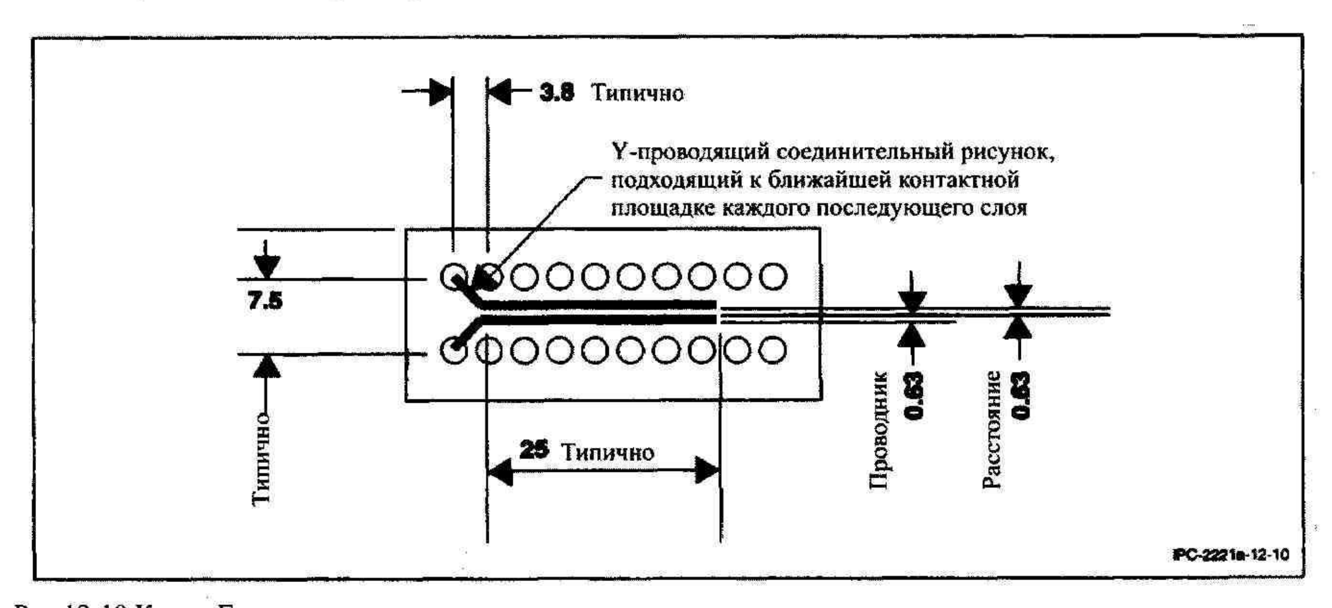


Рис.12-10 Купон E, мм

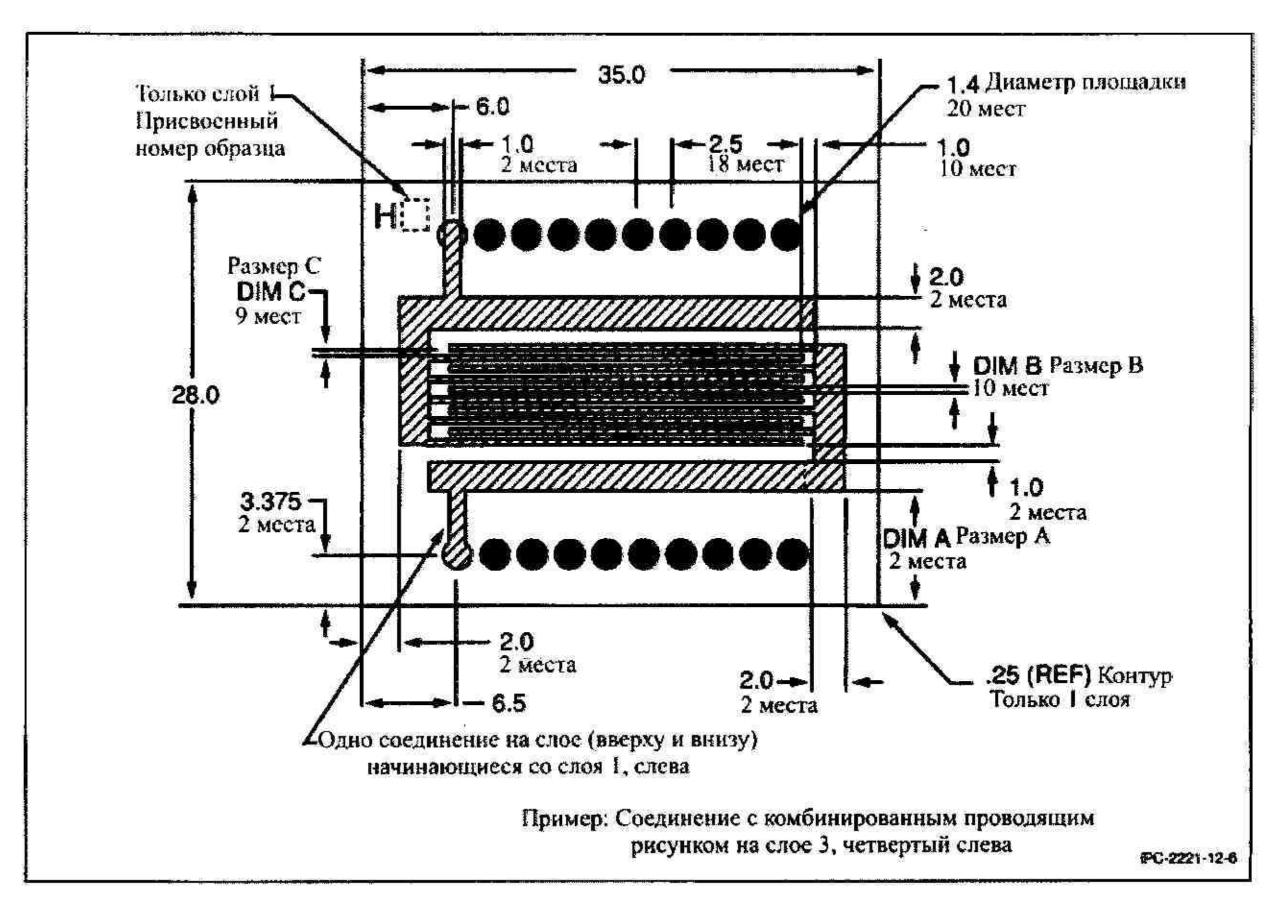


Рис.12-11 Необязательный купон H, мм

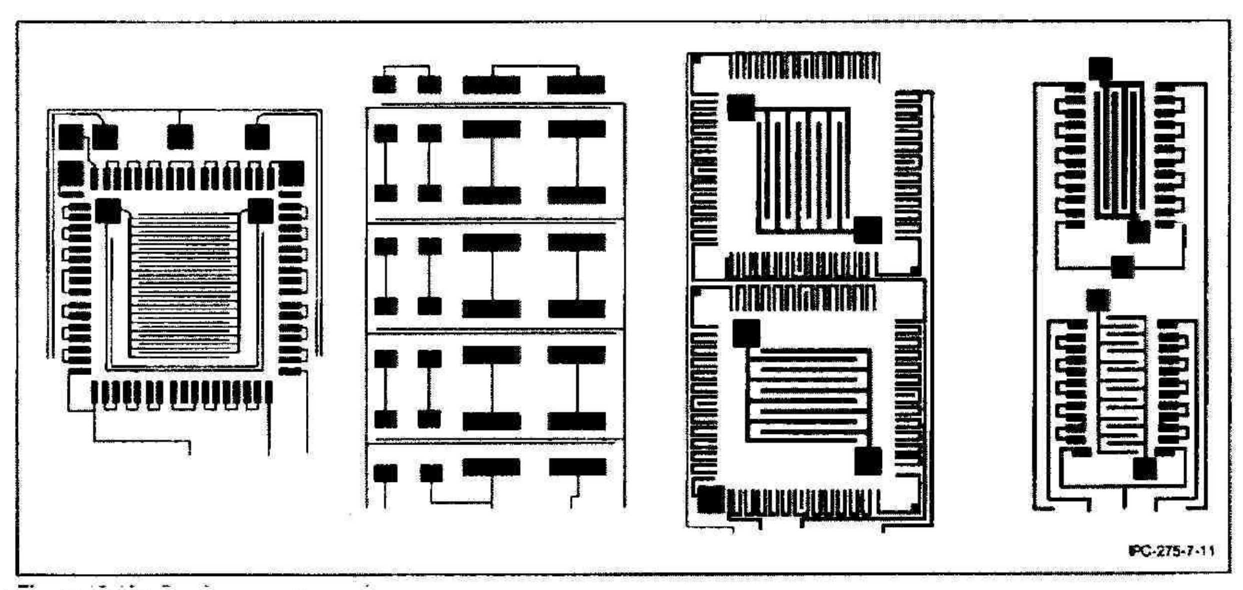


Рис. 12-12 Примеры комбинированных рисунков

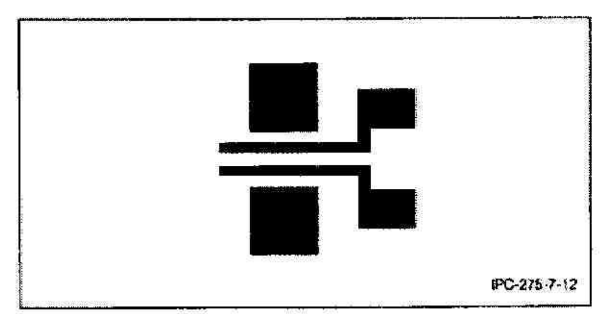


Рис.12-13 Y-проводящий рисунок для ЧИП-компонентов

.25 (ref) Граница только 1 слоя

8.0

3.5
7 PL 7 мест

F

Только для 1слоя присвоенный номер образца

6.5

4.0

35.0

Расположение перекрестий относительно центральной линии контура образца (см. диаграмму)

Отверстие 1 2 3 4 5 6 7 8

Слой 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Вариант 1

Размер площадки, включающий кольцевую площадку

Вариант 2

Размер площадки, не включающий кольцевую площадку

Критерий допустимости/брака

Вариант 1

Минимальная кольцевая площадка

Допустимо

Уменьшенная кольцевая площадка

Брак

Вариант 2

Касание

Допустимо

Разрыв

Брак

IPC-318-10

Рис.12-14 Тест-купон , мм F

12.4.6 Купон G (адгезия паяльного резиста)

Испытательный купон для оценки адгезии паяльного резиста **должен** соответствовать Рис.12-17. Для нанесения паяльного резиста на купон **должен** быть представлен фотошаблон.

12.4.7 Купон M (паяемость монтажной поверхности -необязательный)

Купон должен соответствовать Рис.12-18. Купон может быть использован для оценки паяемости поверхности монтажных контактных площадок в соответствии с требованиями IPC-J-STD-003. В этом случае метод испытания и критерии характеристик **должны** быть указаны в поставочной документации.

12.4.8 Купон N (прочность на отслаивание, прочность соединения монтажной поверхности– необязательный для поверхностного монтажа)

Этот купон **должен** соответствовать Рис.12-19. Купон N используется для оценки прочности на отслаивание и может быть использован для оценки прочности соединения контактных площадок для поверхностного монтажа. В этом случае метод испытания и критерии характеристик **должны** быть указаны в поставочной документации.

12.4.9 Купон S (паяемость отверстия-необязательный)

Этот купон может быть использован для оценки паяемости сквозного металлизированного отверстия по IPC-J-STD-003, если необходимо большее количество отверстий.

Основная конструкция купона приведена на Рис. 12-20. Диаметр отверстия, требуемый для его заполнения припоем, **должен** составлять 0.8 мм ± 0.13 мм. В случае его использования метод испытаний и критерии характеристик **должны** быть указаны в поставочной документации.

12.4.10 Купон T

Этот купон **должен** использоваться для проверки характеристик тентинга, если паяльный резист применяется для перекрытия сквозных металлизированных отверстий (см. 4.5.1). Купон T является таким же, как показанный на Рис.12-20 (купон S), за исключением требования, что купон **должен** быть покрыт паяльным резистом с двух сторон.

Диаметр отверстия **должен** соответствовать диаметру наибольшего металлизированного отверстия, которое должно быть перекрыто паяльным резистом. Этот купон не рассматривался в IPC-6012. Если он используется, метод испытаний и критерии оценки характеристик **должны** быть указаны в поставочной документации.

12.4.11 Тест-купон для контроля технологического процесса

Тест-купон для контроля технологического процесса используется на стратегических участках применяемых процессов для оценки специфического процесса или группы процессов. Тест-купоны, предназначенные для контроля процесса, выбираются изготовителем печатных плат. Процесс, который изготовитель намеревается оценивать, имеет свою специфику в зависимости от назначения.

Оценка контроля процесса устанавливается посредством систематических действий для выполнения статистического контроля процесса. Она включает этапы, указанные на Рис.12-21.

Если контракт предусматривает использование купона для контроля соответствия качества, то назначение образца **должно** быть согласовано между заказчиком и изготовителем.

Конструкция тест-купона для контроля соответствия качества может являться основой при разработке испытательного купона для контроля техпроцесса. В основном, использование купона для оценки процесса является более приемлемым, чем использование печатной платы. Ширина готовых проводников **должна** составлять 0.5 ± 0.07 мм, а размер готовой контактной площадки **должен** быть равен 1.8 ± 0.13 мм. Размер отверстия **должен** быть согласован с оцениваемым процессом. Расположение испытательного купона на заготовке и диаметры отверстий **должны** оставаться постоянными. Чертёжные размеры могут потребовать компенсации для учёта допустимых отклонений технологического процесса.

12.4.12 Купон X (способность к изгибу и стойкость гибкого печатного монтажа)

Эти купоны используются для подтверждения способности к изгибу и стойкости к изгибу применяемого гибкого печатного монтажа. На Рис. 12-22 приведены рекомендации по конструкции купона. Окончательная конфигурация купона должна быть определена с учетом применения готовой продукции и согласована поставщиком и заказчиком. Купоны X-1, X-2, X-3 (обратитесь к IPC-A-41, фотошаблоны односторонних плат) обычно используются при квалифицировании материалов для продукции. Конфигурация купона типа X-4 является предпочтительной для приемочных испытаний гибкой продукции, предназначенной для установленного применения B (динамический изгиб; см. IPC-2223). Купон X-4 должен представлять характеристики проводников действующей конструкции. Длина контура купона, как показано на Рис.12-22, не должна изменяться для согласованности с используемыми фиксирующими приспособлениями для испытаний без предварительного

обсуждения с поставщиком. В основном чертеже должны быть указаны приведенные ниже параметры.

Требования к испытанию на способность к изгибу приведены на Рис.12-23:

- Направление изгиба (a)
- Степень изгиба (b)
- Количество циклов изгиба (c)
- Диаметр оправки (d)
- Используемые точки изгиба

Примечание: Цикл изгиба определяется как захват одного конца образца и его изгибание вокруг оправки, а затем изгибание в обратном направлении до исходного положения образца, при этом образец изгибается на 180^0 в одном направлении и на 180^0 – в другом направлении. Цикл изгиба может также быть определен как изгиб концов образца (с использованием противоположных концов) на 90^0 навстречу друг другу, а затем изгиб в обратном направлении на 90^0 до исходного положения.

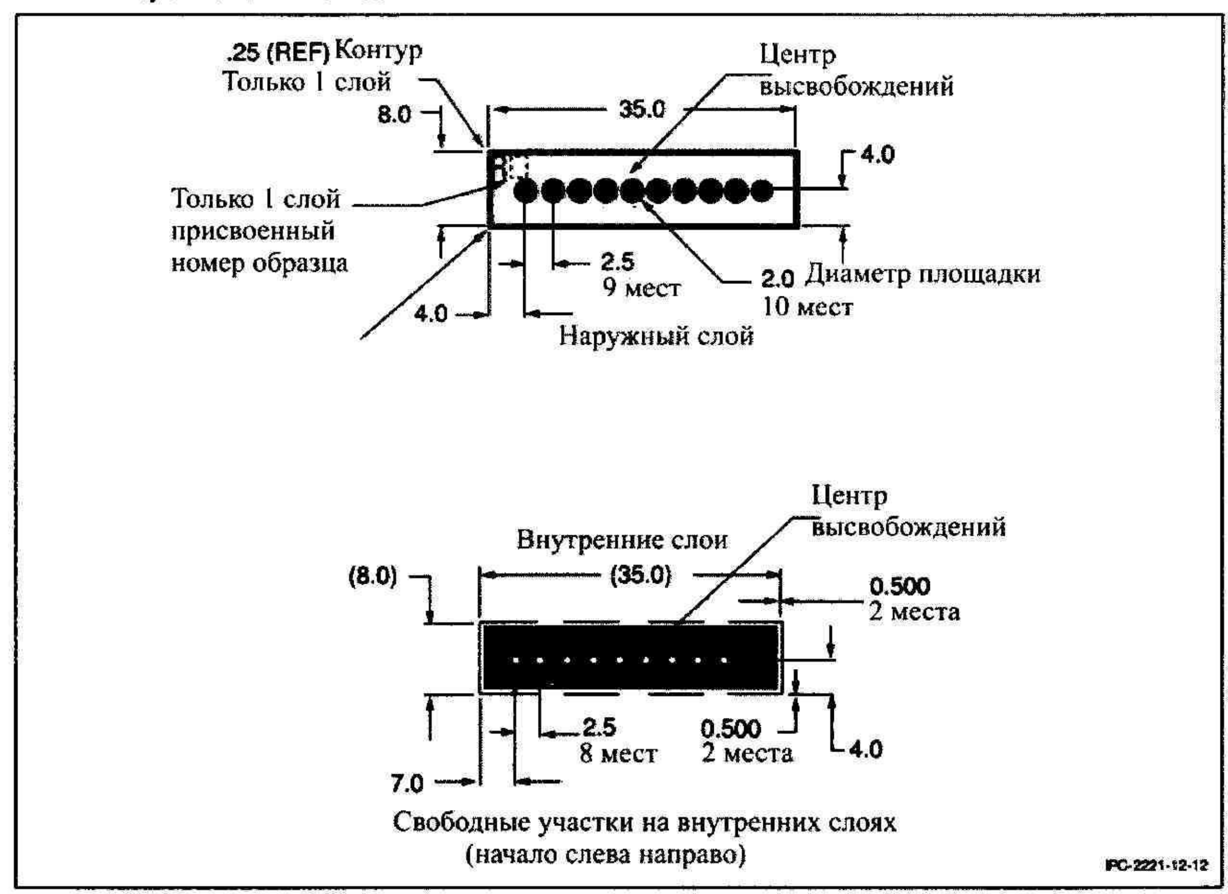


Рис. 12-15 Тест-купон R

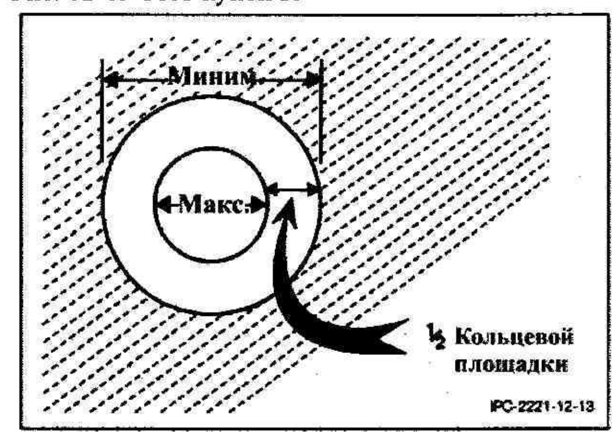


Рис. 12-16 Наихудшее соотношение отверстие/контактная площадка

Испытание на стойкость к изгибу может быть выполнено на специальном испытательном оборудовании. Требования определяются конкретной готовой продукцией и обычно указываются в технических условиях на характеристики. Обратитесь к IPC-TM-650, Метода 2.4.3.

Требования к испытанию на стойкость к изгибу:

- Количество циклов изгиба
- Радиус изгиба
- Скорость изгибания
- Используемые точки
- Ход скобы
- Метод определения характеристик после окончания циклических испытаний на изгиб (визуальные, электрические, изменение сопротивления и т.д.).

Для получения рекомендаций, связанных со способностью к изгибу конкретной конструкции, обратитесь к IPC-2223.

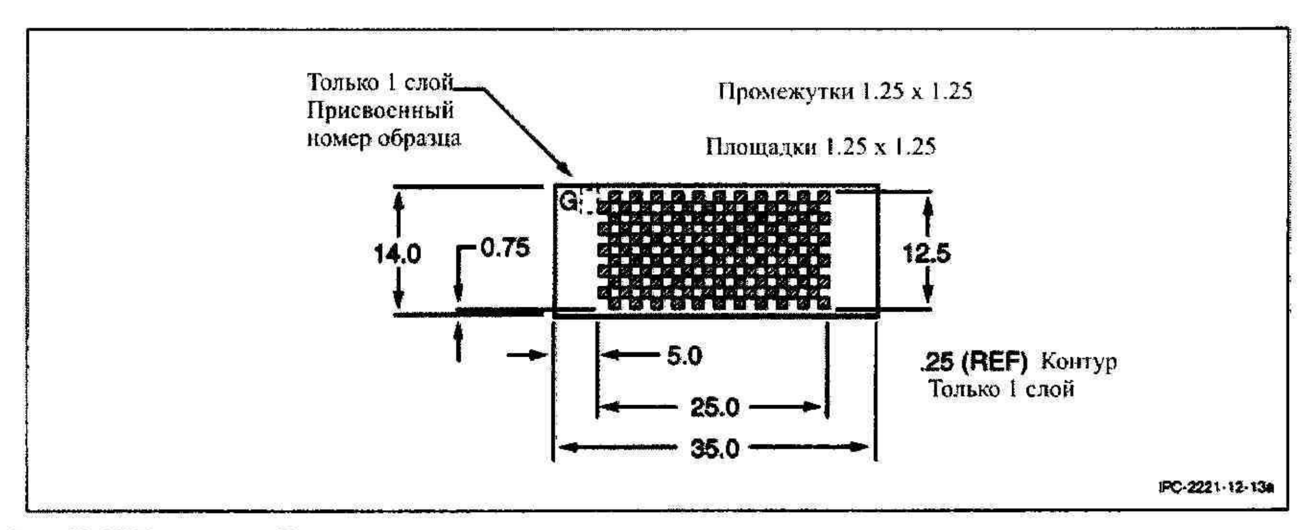


Рис.12-17 Тест-купон G, адгезия паяльного резиста

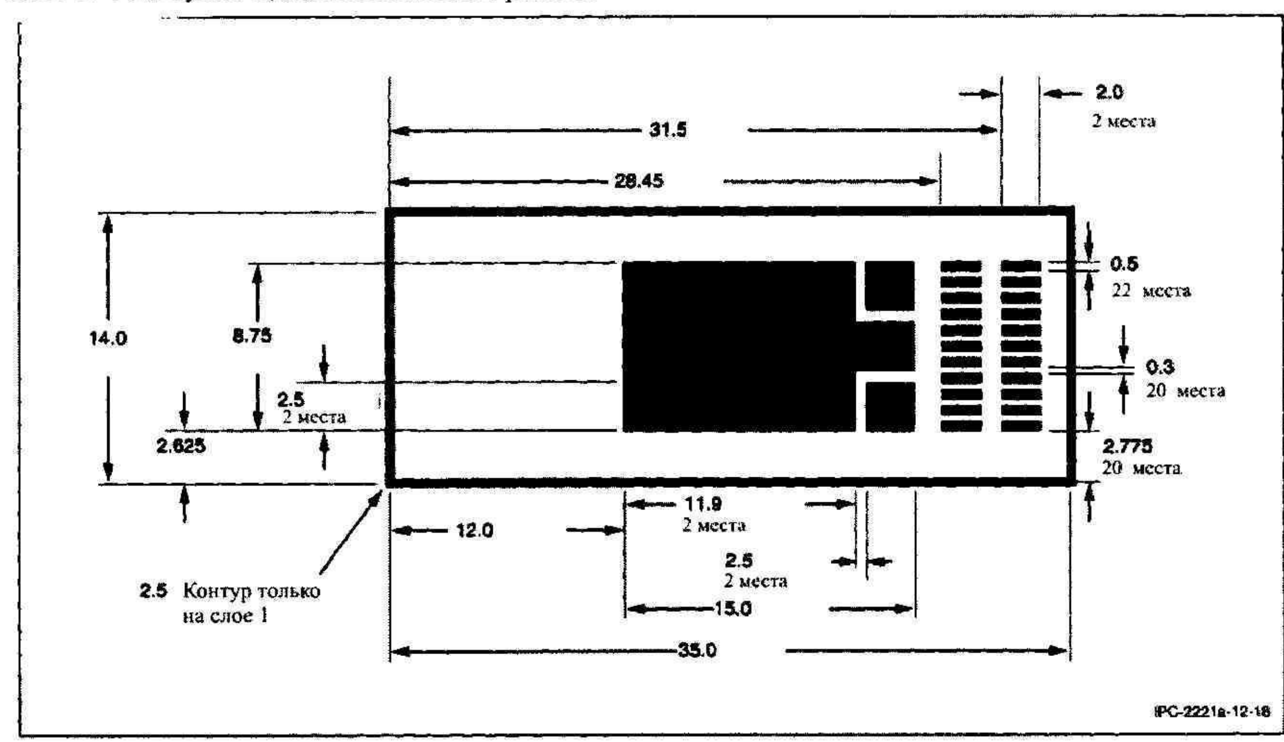


Рис.12-18 Тест-купон M, испытания на паяемость для технологии поверхностного монтажа

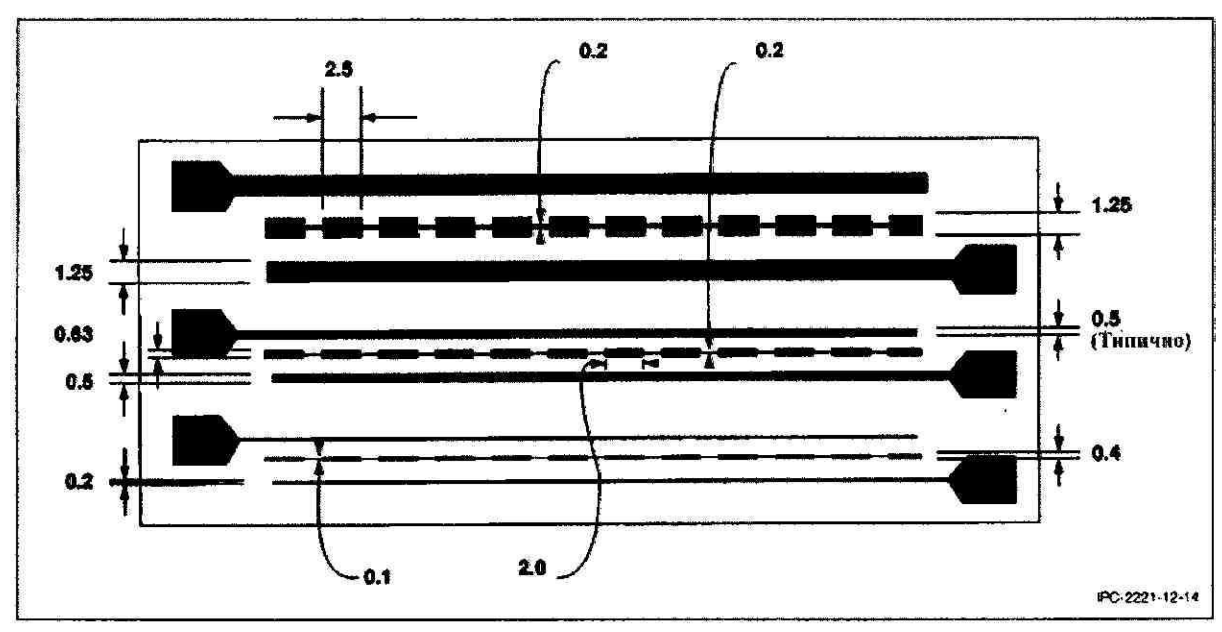


Рис.12-19 Тест-купон N, прочность на отслаивание, прочность сцепления для технологии поверхностного монтажа

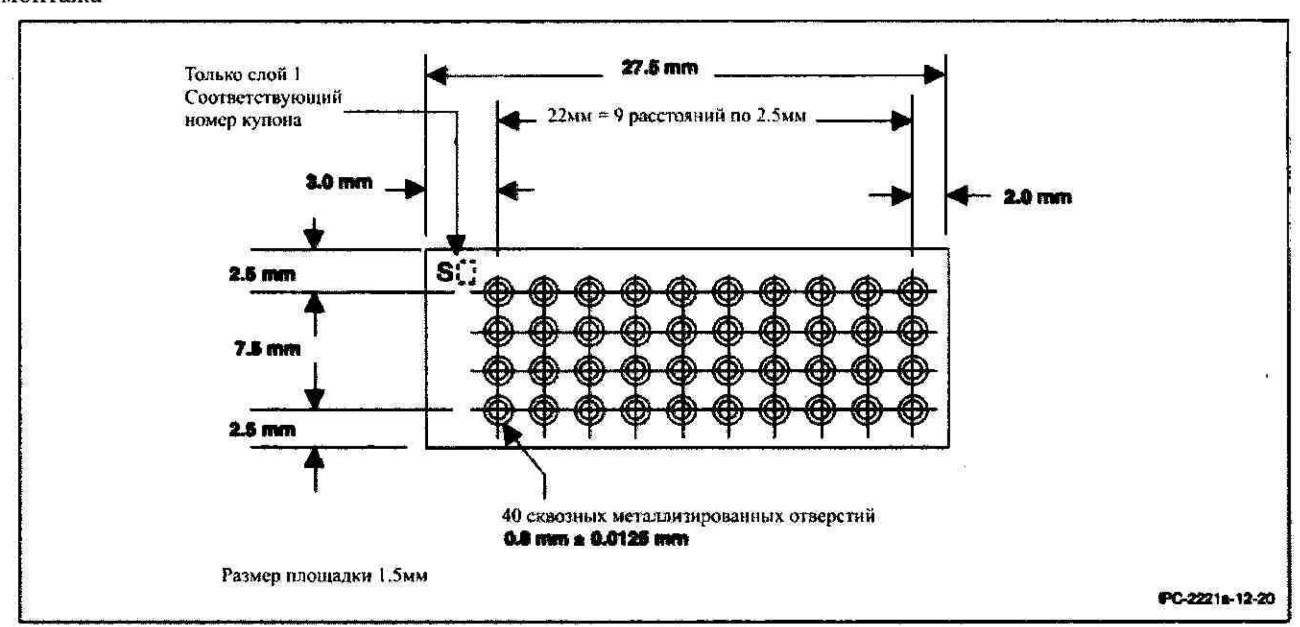


Рис. 12-20 Тест-купон S, мм

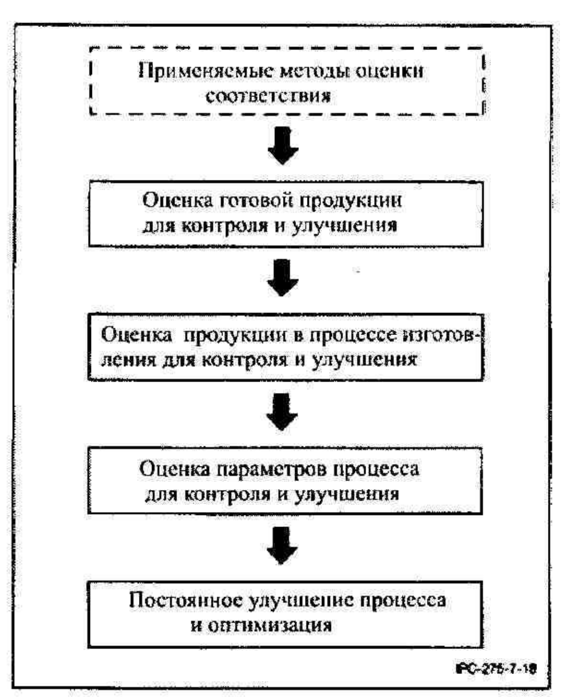


Рис. 12-21 Методика выполнения статистического контроля процесса (SPC)

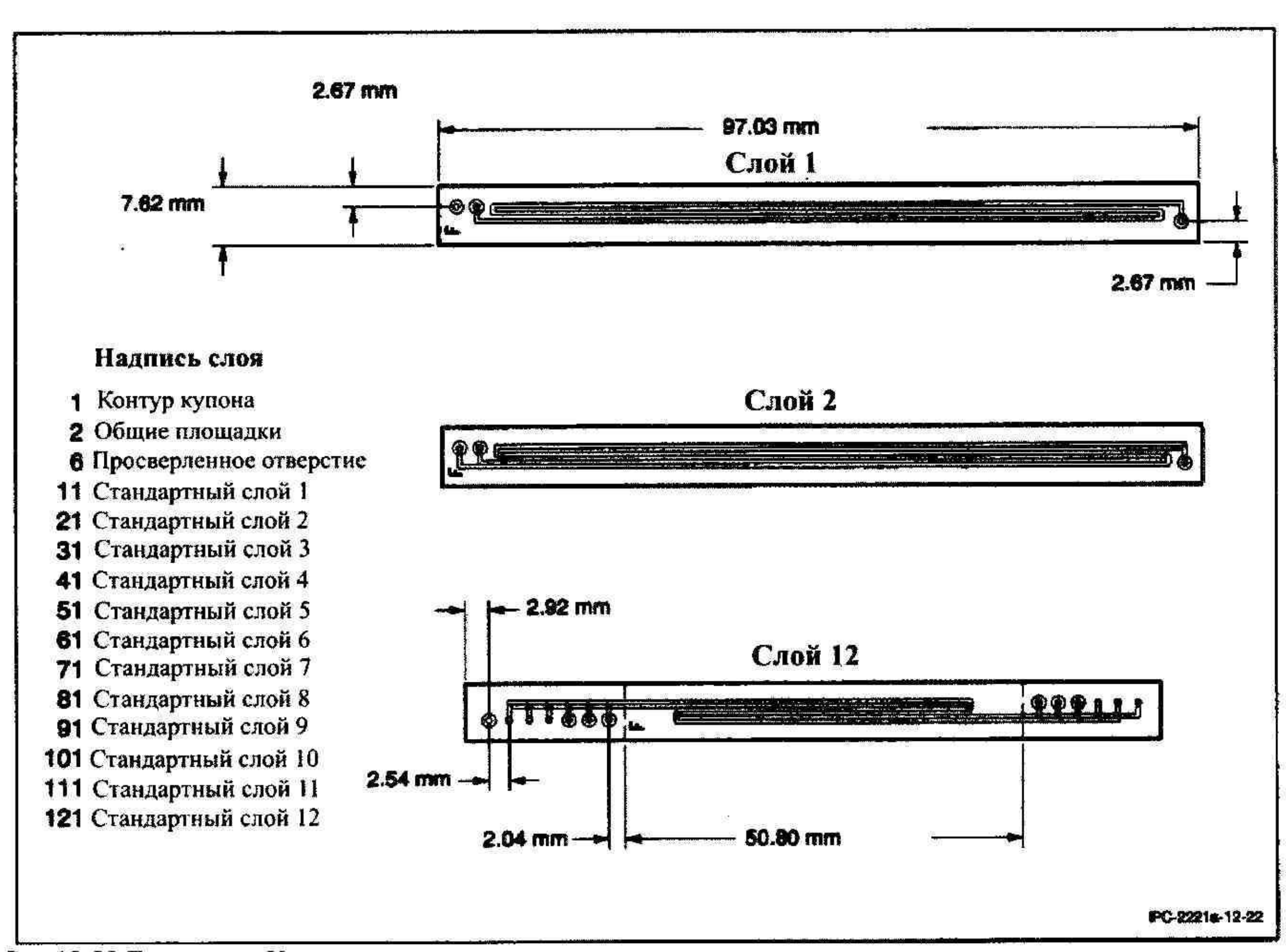


Рис.12-22 Тест-купон X, мм

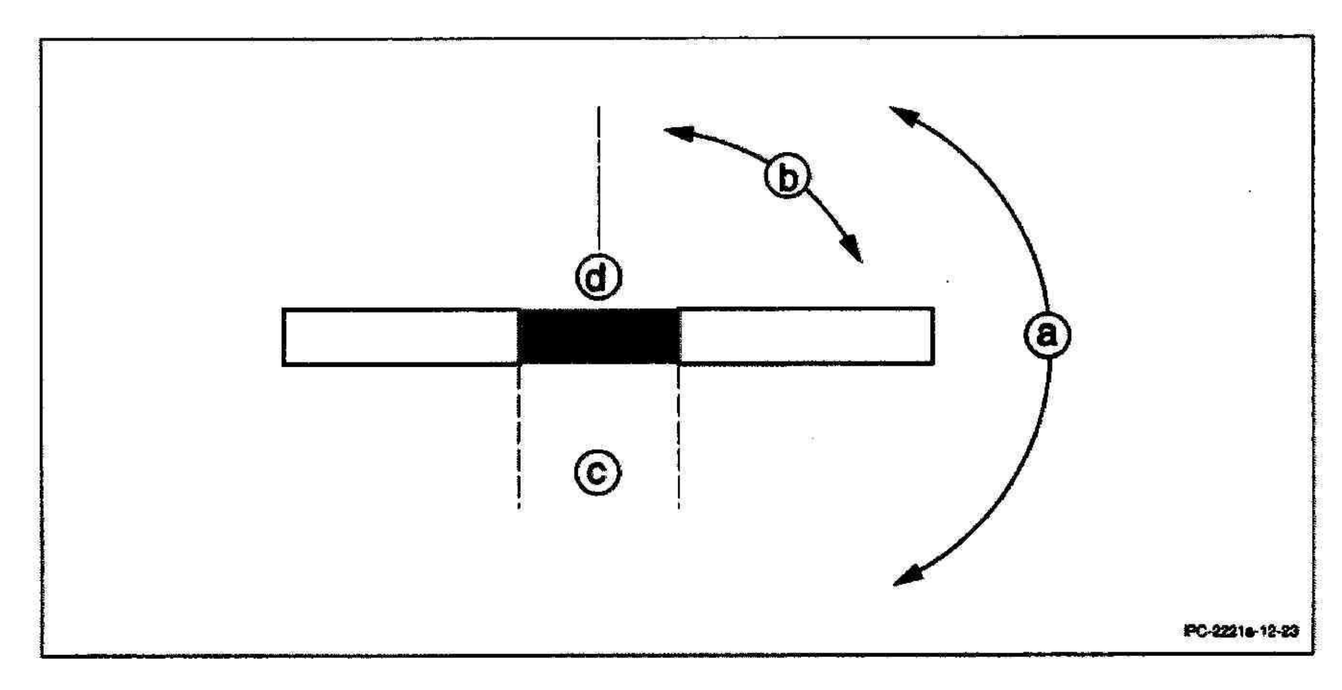


Рис.12-23 Испытание на изгиб

Перечень рекомендаций по конструированию контролепригодных плат

- Предусматривайте наличие контрольных/управляющих точек на торцевом соединителе платы для того, чтобы обеспечить возможность мониторинга внутренних функций платы и доступа к ним, а также способствовать диагностике отказов.
- Дробите сложные логические функции на более мелкие, комбинационные логические части
- Избегайте одноточечных узлов. Если они используются, трассируйте их сигналы к торцевому соединителю.
- Избегайте применения потенциометров и компонентов, параметры которых подбираются при наладке.
- Используйте единый, большой торцевой соединитель для обеспечения схемы контактами ввода/вывода и точками контроля/управления.
- Делайте так, чтобы входные/выходные сигналы платы были логически совместимыми с целью снижения затрат на интерфейс с испытательным оборудованием и повышения гибкости.
- Обеспечивайте достаточную развязку на краях платы и локально, в местах расположения каждой интегральной схемы.
- Обеспечьте, чтобы сигналы, уходящие с платы, имели максимальную нагрузочную способность по выходу, или защищайте их.
- Защищайте высокочувствительные компоненты от краевого соединителя – такие как шины синхроимульсов и выходы триггеров.
- Не соединяйте между собой сигнальные выходы.
- Никогда не превышайте номинальную нагрузочную способность, а в действительности поддерживайте ее на минимально возможном уровне.
- Не используйте большое количество выходных разветвителей. Используйте несколько таких устройств и обеспечьте разделение между их выходами.
- Поддерживайте логическую глубину платы на низком уровне, используя контакты контроля/управления торцевого соединителя.
- По возможности, используйте одинаковую нагрузку для каждого входного сигнала.
- Для неиспользуемых логических контактов применяйте резистивные нагрузочные цепи для уменьшения влияния помех.
- Не подключайте логические выходы непосредственно к базам транзисторов. Используйте для этого последовательно включенные резисторы, ограничивающие ток.
- Защищайте сигналы с выходов триггеров до их выхода с платы.
- Используйте устройства с открытым коллектором с нагрузочными резисторами для обеспечения блокировки внешнего управления.
- Избегайте применения резервированной логики для уменьшения не выявленных неисправностей.
- Подводите выходы каскадных счетчиков к счетчикам высшего разряда, с тем чтобы их можно было протестировать, не применяя больших значений.
- Конструируйте «деревья» для контроля четности выбранных восьми или меньшего числа битов.

- Избегайте применения соединений типа «проводное ИЛИ» и «проводное И». Если этого нельзя избежать, применяйте ключи из той же интегральной схемы.
- Предусматривайте определенные способы игнорирования изменяющих уровень диодов, соединенных последовательно с логическими выходами.
- Разделяйте цепи, когда логический элемент разветвляется по выходу на несколько мест, которые позже будут сходиться в одну точку.
- Используйте элементы одной интегральной схемы при проектировании последовательности инверторов, после которых следует логическая функция.
- Стандартизируйте контакты питания и земли, чтобы избежать необходимости применения нескольких средств тестирования.
- Размещайте контрольные точки как можно ближе к цифро-аналоговым преобразователям.
- Предусматривайте средства блокирования внутренних часов для того, чтобы их можно было подменить на проверочные часы.
- Предусматривайте размещение на торцевом соединителе монтируемых переключателей и резистивно-конденсаторных схем с настроечными цепями.
- Подводите логические устройства управления для ламп и дисплеев к торцевому соединителю таким образом, чтобы можно было проверить правильность выполнения операций при помощи тестера.
- Разделяйте крупные печатные платы на несколько частей, если это возможно, желательно по функциональным признакам.
- Отделяйте цепи аналоговых сигналов от цепей логических дискретных сигналов, за исключением схем синхронизации.
- Монтируйте интегральные схемы равномерно и обеспечьте их четкую идентификацию для упрощения локализации.
- Обеспечивайте достаточное, свободное место вокруг гнезд и мест пайки выводов интегральных схем, чтобы, при необходимости, к их клеммам можно было бы присоединиться.
- Добавляйте цилиндрические контакты или устанавливайте дополнительные гнезда для корпусов интегральных схем в тех случаях, когда для реализации контрольных/управляющих точек не хватает контактов торцевого соединителя платы.
- Применяйте корпуса с совмещенными интегральными схемами и динамическими сдвиговыми регистрами.
- Подводите цепи обратной связи и другие сложные цепи к корпусу интегральной схемы.
- Используйте контактные перемычки, которые можно снимать во время настройки. Перемычки можно размещать вблизи торцевого соединителя платы.
- Фиксируйте местоположение цепей питания и земли для одинакового их исполнения на нескольких типов плат.
- Земляные цепи делайте достаточно больших размеров, чтобы избежать проблем с помехами.
- Группируйте вместе сигнальные цепи определенных семейств.
- Четко маркируйте все составные части, контакты и соединители.